

**StudiEksperimenKarakteristikPutaran Pendulum Pada  
Simulator  
PembangkitListrikTenagaGelombangLautSistemTiga  
Pendulum**

**Nama Mahasiswa : Andini Kusumastuti**

**NRP : 2108100066**

**Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS**

**Dosen Pembimbing : Ir. YunarkoTriwinarno, MT**

**ABSTRAK**

*Indonesia memiliki potensi pengembangan sumber daya kelautan yang sangat besar karena Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia. Salah satu potensi tersebut adalah potensi energi dari gelombang laut. Salah satu pengembangan energi dari laut tersebut adalah studi pemodelan pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem pendulum ponton datar. Pada model ini, gelombang laut akan digunakan untuk merubah dari posisi ponton datar. Akibat dari perubahan posisi ini (miring), pendulum akan berputar dan pusat putaran dihubungkan dengan poros generator, sehingga generator akan berputar dan menghasilkan voltase.*

*Simulator ini akan dimodelkan dengan gerakan jungkat-jungkit dimana inputan gerakan dihasilkan oleh gerakan rotasi motor DC yang dikonversi menjadi gerakan*

*translasi. Sedangkan ponton sendiri dimodelkan sebagai balok dimana dua sisi balok yang saling berlawanan ditahan oleh poros untuk menghasilkan gerakan jungkat-jungkit . Didalam balok tertanam sebuah generator mini yang porosnya akan di hubungkan dengan lengan pendulum yang nantinya menyebabkan generator berputar.*

*Hasil penelitian pada simulator gerakan gelombang laut ini didapatkan, yaitu pada simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut single pendulum pada RPM 10 amplitudo 4cm terjadi putaran searah dengan voltase efektif (RMS) sebesar 0,8484. Sedangkan pada RPM 10 amplitudo 6 cm terjadi gerakan bolak-balik yang mengakibatkan nilai RMS tinggi sebesar 11,0292. Pada RPM 20 amplitudo 4 cm tidak terjadi perputaran. Sedangkan pada RPM 20 amplitudo 6 cm terjadi putaran yang searah. Pada RPM 30 amplitudo 4 cm pendulum tidak berputar sedangkan pada RPM 30 amplitudo 6 cm pendulum berputar searah dan menghasilkan voltase efektif (RMS) 15,554. Sedangkan pada simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut triple pendulum didapatkan hasil pendulum bergerak searah dengan voltase efektif (RMS) sebesar 0,5656 pada RPM 10 amplitudo 4 cm. Pada RPM 20 amplitudo 4cm pendulum bergerak searah dengan voltase efektif (RMS) 0,9191. Pada RPM 20 amplitudo 6cm pendulum bergerak searah dengan voltase*

*efektif (RMS) 9,191. Pada RPM 30 amplitudo 4cm pendulum bergerak searah dengan voltase efektif (RMS) 14,14. Pada RPM 30 amplitudo 6cm pendulum bergerak searah dengan voltase efektif (RMS) 9,898. Sedangkan pada RPM 10 amplitudo 6 pendulum bergerak bolak-balik (tidak konstan) dengan voltase efektif (RMS) 8,484.*

***Key words: Triple Pendulum, Simulator PLTGL-SB Triple Pendulum, PLTGL-SB sistem tiga pendulum***

# **The Experimental Studies Of the Characteristics of Round Pendulum Simulator Sea Wave Power Plan with Three Pendulum System**

**Student Name** : Andini Kusumastuti  
**NRP** : 2108100066  
**Department** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Advisor Lecturer** : Ir. Yunarko Triwinarno, MT

## **ABSTRACT**

*A development of utilizing the energy from the ocean is a modeling study of ocean wave-power plant with flat pendulum system. In this model, the ocean waves will be utilized to change the position of a flat pontoon. The moves of waves change the position of the pendulum to become obliged. This movements causes pendulum to rotate whit the rotation center shaft is connected to a generator. As an end result, spinning generator generates some voltages 20.*

*This simulator will be modeled with a seesaw motion which is generated by the movement of the input DC motor rotational movement then converted into translational motion. The pontoon is modeled as a beam in which two opposing sides of the beam axis to produce detained by the seesaw movement. Embedded within the beam axis a mini generator that will connect with the pendulum arm will cause the generator to spin.*

*The results of this ocean wave motion simulator research is explained: the simulator sea wave power plant 10 RPM single pendulum in amplitude occur 4cm rounds in the direction of the effective voltage (RMS) of 0.8484. Whereas on 10 RPM amplitude 6 cm there is back and forth motion occurs resulting high RMS value as large as 11.0292. At 20 RPM amplitude of 4 cm did not occur turnover. While the RPM 20 6 cm amplitude occurs in the direction of rotation. At of 30 RPM amplitude 4 cm pendulum does not rotate when in RPM 30 6 cm amplitude pendulum rotates in the same direction and produce effective voltage of (RMS) 15.554. While the simulator sea wave power plant showed a triple pendulum and the pendulum moving in the direction of the effective voltage (RMS) 0.5656 at 10 RPM amplitude of 4 cm. At 20 RPM 4cm amplitude of the pendulum moving in the direction of the effective voltage of (RMS) 0.9191. At 20 RPM 6cm amplitude of the pendulum moving in the direction of the effective voltage of (RMS) 9.191. At 30 RPM 4cm amplitude of the pendulum moving in the direction of the effective voltage of (RMS) 14.14. At 30 RPM 6cm amplitude of the pendulum moving in the direction of the effective voltage of (RMS) 9.898 While at 10 RPM amplitude 6 cm the pendulum moves back and forth (not constant) the effective voltage is (RMS) 8.484.*

***Key words: Triple Pendulum, Simulator PLTGL-SB Triple Pendulum, PLTGL-SB sistem tiga pendulum, triple pendulum***

## DAFTAR ISI

### HALAMAN AWAL

|                   |      |
|-------------------|------|
| LEMBAR PENGESAHAN |      |
| ABSTRAK           | i    |
| ABSTRACT          | iv   |
| KATA PENGANTAR    | vi   |
| DAFTAR ISI        | xi   |
| DAFTAR GAMBAR     | xii  |
| DAFTAR TABEL      | xvii |

### BAB I PENDAHULUAN

|                        |   |
|------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang     | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah  | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian  | 4 |
| 1.4 Batasan Masalah    | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 5 |

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 2.1 Dasar Teori                  | 7  |
| 2.1.1 Teori Pembangkit Gelombang | 7  |
| 2.1.2 Teori Gelombang            | 10 |
| 2.1.3 Teori Pendulum Sederhana   | 10 |
| 2.1.4 Teori Triple Pendulum      | 14 |
| 2.2 Konsep Getaran               | 16 |
| 2.2.1 Pengertian Getaran         | 16 |
| 2.2.2 Karakteristik Getaran      | 17 |
| 2.2.3 Konsep Getaran Pendulum    | 23 |
| 2.3 Bandul Pendulum              | 25 |
| 2.4 Motor Listrik                | 28 |
| 2.5 Ponton                       | 28 |
| 2.6 Generator Elektrik           | 28 |
| 2.7 Poros                        | 29 |
| 2.8 Bantalan                     | 31 |

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 35 |
| 3.1.1 Flowchart Penelitian  | 36 |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.2 Penjelasan Flowchart Penelitian   | 37 |
| 3.1.2.1 Studi Literatur   | 37 |
| 3.1.2.2 Pemodelan Sederhana   | 37 |
| 3.1.2.3 Penentuan Input Putaran Motor Yang Menyerupai<br>Frekuensi Gelombang Laut | 39 |
| 3.1.2.4 Perencanaan Mekanisme   | 40 |
| 3.1.2.5 Pembuatan Mekanisme   | 51 |
| 3.1.2.6 Pengujian Mekanisme   | 51 |
| 3.2 Metodologi Percobaan  | 51 |
| 3.2.1 Bahan Dan Alat Percobaan  | 51 |
| 3.2.1 Pengambilan Data  | 55 |
| 3.2.3 Metodologi Perhitungan  | 59 |
| 3.3 Perencanaan Penyusunan Tugas Akhir  | 62 |

#### **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

|  |    |
|--|----|
| 4.1 Prototipe Simulator PLTGL-SB   | 63 |
| 4.2 Hasil Pengujian Karakteristik PLTGL-SB                               | 69 |
| 4.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik PLTGL-Sistem Satu<br>Bandul          | 69 |
| 4.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik PLTGL-Sistem Tiga<br>Bandul          | 76 |
| 4.3 Perbandingan Karakteristik PLTGL-SB                                  | 82 |
| 4.3.1 Amplitudo 4 Cm Dengan Variasi Massa Dan Panjang<br>Lengan Pendulum | 83 |
| 4.3.2 Amplitudo 6 Cm Dengan Variasi Massa Dan Panjang<br>Lengan Pendulum | 89 |

#### **BAB V PENUTUP**

|                |    |
|----------------|----|
| 5.1 Kesimpulan | 95 |
| 5.2 Saran      | 97 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

UCAPAN TERIMA KASIH

BIODATA PENULIS

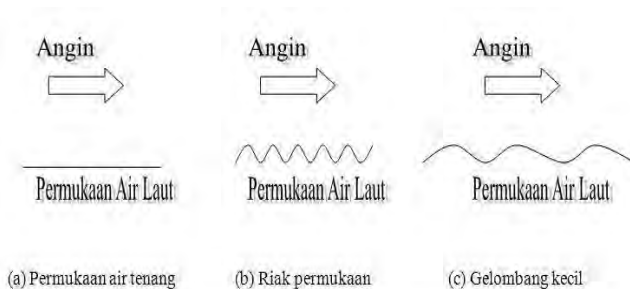
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dasar Teori

##### 2.1.1 Teori Pembangkit Gelombang Laut

Proses terbentuknya pembangkitan gelombang di laut oleh gerakan angin belum sepenuhnya dapat dimengerti, atau dapat dijelaskan secara terperinci. Tetapi menurut perkiraan, gelombang terjadi karena hembusan angin secara teratur, terus-menerus, di atas permukaan air laut. Hembusan angin yang demikian akan membentuk riak permukaan, yang bergerak kira-kira searah dengan hembusan angin (lihat Gambar 2.1.a,b,c).



**Gambar 2.1** Proses Pembentukan Gelombang Akibat Angin



Bila angin masih terus berhembus dalam waktu yang cukup panjang dan meliputi jarak permukaan laut (*fetch*) yang cukup besar, maka riak air akan tumbuh menjadi gelombang. Pada saat yang bersamaan riak permukaan baru akan terbentuk di atas gelombang yang terbentuk, dan selanjutnya akan berkembang menjadi gelombang – gelombang baru tersendiri. Proses yang demikian tentunya akan berjalan terus menerus (kontinyu), dan bila gelombang diamati pada waktu dan tempat tertentu, akan terlihat sebagai kombinasi perubahan-perubahan panjang gelombang dan tinggi gelombang yang saling bertautan. Komponen gelombang secara individu masih akan mempunyai sifat-sifat seperti gelombang pada kondisi ideal, yang tidak terpengaruh oleh gelombang-gelombang lain. Sedang dalam kenyataannya, sebagai contoh, gelombang-gelombang yang bergerak secara cepat akan melewati gelombang-gelombang lain yang lebih pendek (lamban), yang selanjutnya mengakibatkan terjadinya perubahan yang terus-menerus bersamaan dengan gerakan gelombang-gelombang yang saling melampaui.

Jelasnya gelombang-gelombang akan mengambil energi dan angin. Penyerapan energi ini akan dilawan dengan mekanisme peredam, yaitu pecahnya gelombang dan kekentalan air. Bila angin secara kontinyu berhembus dengan

kecepatan yang tetap untuk waktu dan '*fetch*' yang cukup panjang, maka jumlah energi yang terserap oleh gelombang akan diimbangi dengan energi yang dikeluarkan sehingga suatu sistem „gelombang sempurna“ (*fully developed waves*) akan tercapai. Sistem gelombang demikian sebenarnya jarang dijumpai karena kondisi '*steady*' tidak sering terjadi, dan juga '*fetch*' kadang-kadang dibatasi oleh kondisi geografi lingkungan.

Bilamana angin berhenti berhembus, sistem gelombang yang telah terbentuk akan segera melemah. Karena gelombang pecah adalah merupakan mekanisme yang paling dominan, maka gelombang pendek dan lancip, akan menghilang terlebih dulu, sehingga tinggal gelombang-gelombang panjang yang kemudian menghilang oleh gaya-gaya kekentalan, yang pada dasarnya lebih kecil dari gelombang pecah.

Proses pelemahan (menghilangnya) gelombang mungkin mencapai beberapa hari, yang bersamaan dengan itu gelombang-gelombang panjang sudah bergerak dan menempuh jarak ribuan kilometer, yang pada jarak yang cukup jauh dan tempat mulainya gelombang akan dapat diamati sebagai alun (*swell*). Alun biasanya mempunyai periode yang sangat panjang, dan bentuknya cukup beraturan (*reguler*). Sistem gelombang yang terbentuk secara

lokal mungkin akan dipengaruhi oleh alun yang terbentuk dan tempat yang jauh; yang tentu saja tidak ada kaitannya dengan angin lokal.

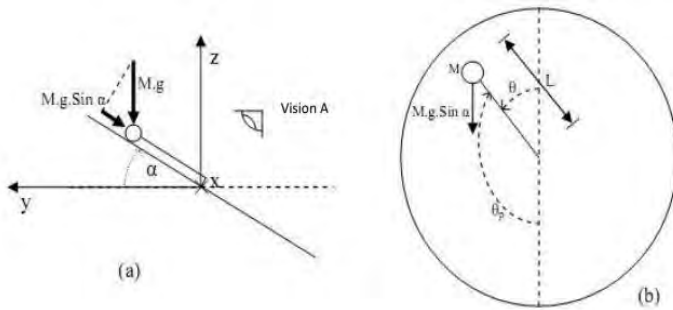
### **2.1.2 Teori Gelombang**

Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara sistematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random ( Suatu deret gelombang mempunyai periode dan tinggi tertentu ). Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan bentuk pendekatan gelombang alam. Ada beberapa teori dengan berbagai derajat kekomplekan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam diantaranya adalah teori airy, Stokes, Gertsner, Mich, Knoidal, dan tunggal. Masing – masing teori tersebut mempunyai batasan keberlakuan yang berbeda – beda. Teori yang paling sederhana adalah teori gelombang linier yang pertama kali ditemukan oleh Airy pada tahun 1845.

### **2.1.3 Teori Pendulum Sederhana**

Pergerakan pendulum dapat dikatagorikan sebagai getaran bebas teredam. Hal ini dikarenakan gaya

pemulih/pembalik dari pendulum hanya diperoleh akibat pengaruh gravitasi sedangkan tidak ada gaya luar yang mengganggu pendulum. Maka secara umum, berlaku persamaan getaran bebas pendulum dengan peredaman torsional. Adapun *free body diagram* untuk pendulum dengan kemiringan lempeng ponton datar tertentu sebagai berikut.



**Gambar 2.2.** *Free body diagram* pendulum dengan gambar

(a) pandangan samping dan gambar

(b) pandangan A.

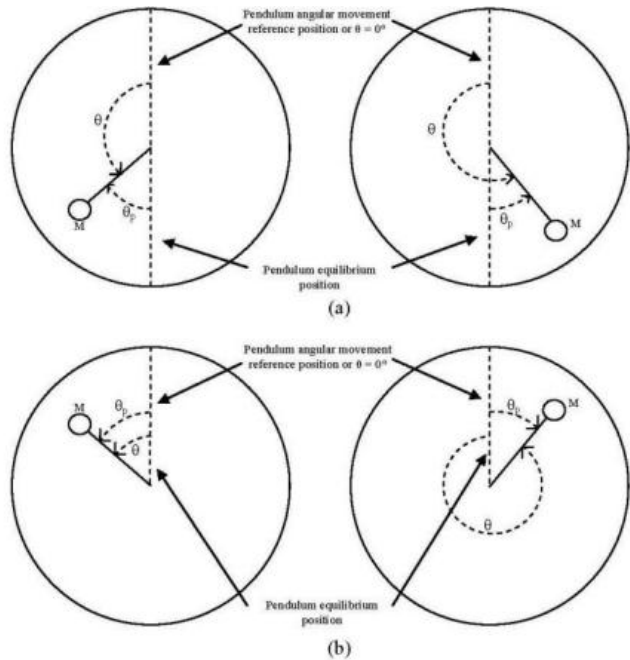
Perhitungan momen inersia dari pendulum sebagai berikut.

$$\text{Momen inersia bola pendulum} = J_p = M \cdot L^2$$

Perhitungan tentang persamaan gerak pendulum berlaku persamaan gerak rotasi mengelilingi sumbu tetap sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \sum T &= J_p \cdot \ddot{\theta}_p \\
 -M \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \sin \theta_p \cdot L - C_t \cdot \dot{\theta}_p &= M \cdot L^2 \cdot \ddot{\theta}_p \\
 0 &= M \cdot L^2 \cdot \ddot{\theta}_p + C_t \cdot \dot{\theta}_p + M \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \sin \theta_p \cdot L
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Hubungan  $\theta$  dan  $\theta_p$  dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.3.** Hubungan  $\theta$  dan  $\theta_p$ . Gambar a) jika arah  $g \cdot \sin \alpha$  ke bawah.

Gambar b) jika arah  $g \cdot \sin \alpha$  ke atas.

Pemisahan simbol untuk mengidentifikasi pergerakan pendulum karena letak posisi acuan sudut gerak pendulum selalu tetap untuk semua variasi sudut kemiringan lempeng ponton datar sedang posisi ekuilibrium atau kesetimbangan selalu berubah tergantung sudut dan posisi kemiringan lempeng ponton datar. Posisi acuan sudut gerak pendulum atau  $\theta = 0$  dipilih jari-jari ponton datar yang sejajar dengan arah positif sumbu  $y$  saat  $\alpha=0$ . Pada gambar 2.5.a. kondisi lempeng ponton datar jika nilai sudut  $\alpha$  positif. Pada gambar 2.5.b. kondisi lempeng ponton datar jika nilai sudut  $\alpha$  negatif. Posisi kesetimbangan pendulum, saat sudut  $\alpha$  positif, berada pada 180 derajat terhadap posisi acuan sudut gerak pendulum atau  $\delta = 180$  derajat. Posisi kesetimbangan pendulum, saat sudut  $\alpha$  negatif, berhimpit dengan posisi acuan sudut gerak pendulum atau  $\delta = 0$  derajat. Secara matematis, hubungan antara sudut respon  $\theta$ , sudut simpang  $\theta_p$ , dan sudut  $\delta$  dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\theta(t) = \theta_p(t) + \delta(t) \quad (2.2)$$

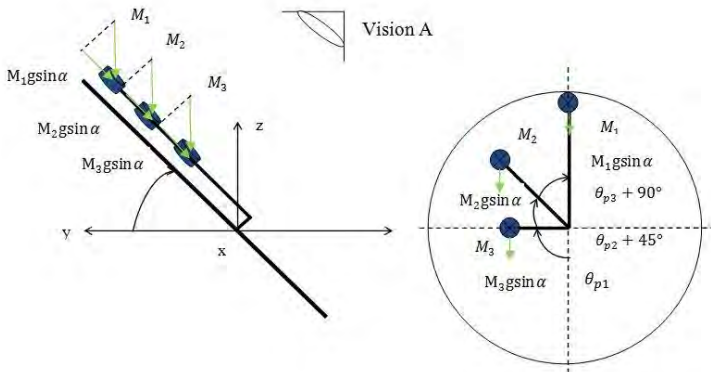
Generasi sinusoidal pada sudut  $\alpha$  didapati dari input amplitudo ( $\alpha_{\text{maks}}$ ) dan frekuensi ( $\omega_a$ ). Hubungan keduanya dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\alpha(t) = \alpha_{maks} \cdot \sin(\omega_{\alpha} \cdot t) \quad (2.3)$$

Dengan melihat persamaan 2.1 dan 2.3 dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut ponton ( $\alpha$ ) maka semakin besar pula sudut pendulum  $\theta_p$ . Pada  $\alpha$  sebagai input dan  $\theta_p$  sebagai output pada pendulum yang nantinya sebagai input pada *gearbox*.

### 2.1.4 Teori Triple Pendulum

Adapun sebagai acuan dari pergerakan pendulum pada Teori Pendulum Sederhana. Maka, dihasilkan teori triple pendulum sebagai berikut :



**Gambar 2.4.** Free body diagram pendulum dengan gambar  
 (a) pandangan samping dan gambar  
 (b) pandangan A.

Dari persamaan single pendulum atau pendulum sederhana, maka didapatkan persamaan sebagai berikut untuk mendapatkan persamaan dari Triple Pendulum :

$$\Sigma T = \Sigma J_P \ddot{\theta}_P$$

$$\begin{aligned} M_1 \cdot g \cdot \sin \alpha \sin \theta_p \cdot L_1 + M_2 \cdot g \cdot \sin \alpha \sin(\theta_p + 45^\circ) \cdot L_2 \\ + M_3 \cdot g \cdot \sin \alpha \sin(\theta_p + 90^\circ) \cdot L_3 - C_T \dot{\theta}_p \\ = \Sigma J_P \ddot{\theta}_P \end{aligned}$$

Karena,  $M_1 = M_2 = M_3 = M$ , maka :

$$\begin{aligned} M \cdot g \cdot \sin \alpha (L_1 \sin \theta_p + L_2 \sin(\theta_p + 45^\circ) + L_3 \sin(\theta_p + 90^\circ) \\ - C_T \dot{\theta}_p = J_{P1} \ddot{\theta}_P + J_{P2} \ddot{\theta}_P + J_{P3} \ddot{\theta}_P \end{aligned}$$

$J_P = ML^2$ , maka :

$$\begin{aligned} \Sigma J_P = ML_1^2 \ddot{\theta}_P + ML_2^2 (\ddot{\theta}_P + 45^\circ) + ML_3^2 (\ddot{\theta}_P + 90^\circ) \\ - C_T \dot{\theta}_p \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \cdot g \cdot \sin \alpha (L_1 \sin \theta_p + L_2 \sin(\theta_p + 45^\circ) + L_3 \sin(\theta_p + 90^\circ) \\ - J_{P1} \ddot{\theta}_P + J_{P2} \ddot{\theta}_P + J_{P3} \ddot{\theta}_P - C_T \dot{\theta}_p \\ = \Sigma J_P \ddot{\theta}_P \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M \cdot g \cdot \sin \alpha (L_1 \sin \theta_p + L_2 \sin(\theta_p + 45^\circ) + L_3 \sin(\theta_p + 90^\circ) \\ - ML_1^2 \ddot{\theta}_P + ML_2^2 (\ddot{\theta}_P + 45^\circ) \\ + ML_3^2 (\ddot{\theta}_P + 90^\circ) - C_T \dot{\theta}_p = \Sigma J_P \ddot{\theta}_P \end{aligned}$$



## **2.2 Konsep getaran**

### **2.2.1 Pengertian Getaran**

Getaran adalah gerak bolak-balik secara berkala melalui titik kesetimbangan. Sedangkan pengertian Gelombang adalah getaran yang merambat. Dengan demikian, antara getaran dengan gelombang ada kaitannya yaitu dapat dikatakan bahwa gelombang merupakan rambatan suatu getaran. Walaupun gelombang merupakan rambatan getaran tetapi partikel-partikel getaran yang merambat tersebut tidak ikut berpindah (tetap) karena partikel-partikelnya hanya bergetar saja . Namun, perlu kita ketahui bersama bahwa rambatan getaran membawa energi.

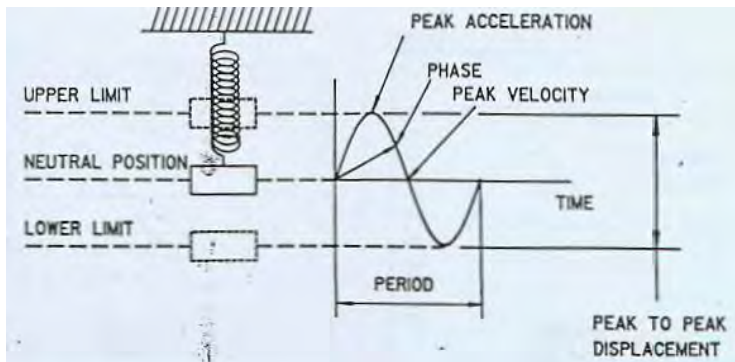
### **2.2.2 Karakteristik Getaran**

Setiap kondisi getaran benda memiliki karakteristik getaran. Karakteristik getaran yang dimaksud adalah :

- Frekuensi
- Periode
- Displacement
- Velocity
- Akselerasi
- Fase

Mengacu pada contoh beban pada ujung pegas, dapat digambarkan karakteristik dari getaran dengan memplotkan

gerakan beban terhadap waktu seperti pada gambar 2.3. Gerakan dari beban dari posisi netral bawah (lembah) dikatakan sebagai satu siklus gerakan (*one cycle of motion*). Sampai ke batas atas (puncak) kemudian turun kembali melewati posisi netral sampai pada batas.



*Gambar 2.3. Plot Sinyal Getaran Terhadap Waktu.*

(Sumber: D. Dimargonas, Andrew, "*Vibration for Engineers*".2002)

Gambar 2.3. memiliki semua karakteristik yang dibutuhkan untuk menggambarkan getaran yang terjadi. Karakteristik getaran dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Frekuensi Getaran

Seperti yang ditunjukkan pada gambar, waktu yang dibutuhkan 1 siklus getaran disebut dengan periode getaran.

Apabila sebuah mesin membutuhkan 1/60 detik untuk sebuah siklus getaran maka dapat dikatakan bahwa periode getaran pada mesin tersebut adalah 1/60 detik. Periode getaran sering digunakan dalam analisa data getaran. Karakteristik yang lebih penting dari periode adalah frekuensi. Frekuensi getaran adalah ukuran dari jumlah siklus getaran penuh yang terjadi dalam rentang waktu tertentu. Hubungan antara periode getaran dan frekuensi dapat digambarkan pada persamaan:

$$\text{Frekuensi } (f) = 1/\text{periode} = 1/T \dots(2. 1)$$

Pada umumnya frekuensi diekspresikan sebagai jumlah getaran yang terjadi per menit (*Cycle per Minute*, CPM). Akan tetapi dapat pula diekspresikan sebagai jumlah getaran yang terjadi dalam satu detik, Hertz. Dimana konversi dari CPM ke Hertz adalah:

$$\text{CPM} = \text{Hertz} \times 60 \dots(2. 2)$$

$$\text{Hertz} = \text{CPM} / 60 \dots(2. 3)$$

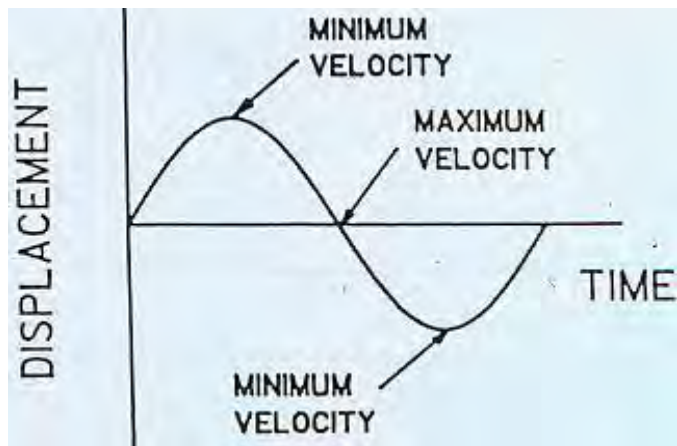
## 2. Displacement Getaran

*Displacement* adalah jarak yang ditempuh oleh gerakan bolak-balik (getaran) pada suatu periode waktu tertentu. *Displacement* bersifat sensitif terhadap pengukuran getaran pada frekuensi rendah yaitu dibawah 10 Hz. Mengingat keterbatasan daerah frekuensi yang rendah ini,

maka untuk analisa getaran *displacement* jarang digunakan. *Displacement* lebih banyak digunakan untuk mengukur besarnya getaran secara *overall (filter out)* dan *balancing* pada putaran rendah, serta mesin-mesin perkakas yang memerlukan ketelitian terhadap *displacement*.

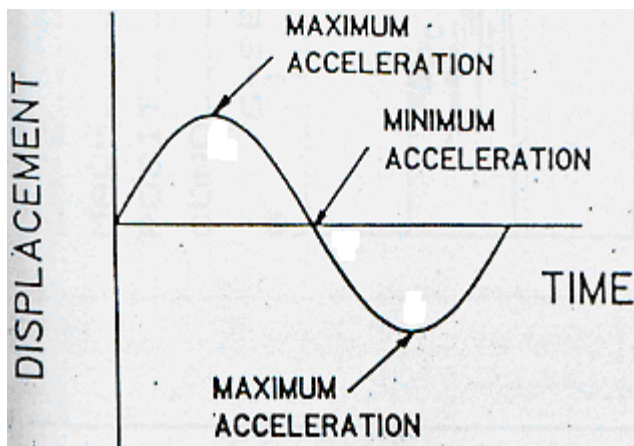
### 3. Kecepatan dan Percepatan Getaran (velocity & acceleration)

*Velocity* adalah kecepatan gerakan bolak – balik pada suatu periode waktu tertentu. *Velocity* bersifat sensitif terhadap pengukuran getaran pada frekuensi menengah yaitu antara 10 – 100 Hz. Dengan range frekuensi yang cukup besar, selain untuk pengukuran secara *overall (filter out)*, *velocity* banyak digunakan untuk analisa getaran. *Acceleration* adalah percepatan gerak bolak-balik pada suatu periode waktu tertentu. Percepatan selalu berubah tergantung pada jarak yang ditempuh. *Acceleration* bersifat sensitif terhadap pengukuran getaran pada frekuensi tinggi yaitu diatas 100 Hz. Dengan demikian *acceleration* digunakan untuk analisa getaran yang mempunyai frekuensi berkekuatan tinggi. *Acceleration* digunakan pada *roll* atau *Ball bearing* dan roda gigi, atau pada mesin yang memiliki putaran.



*Gambar 2. 4. Kecepatan Getaran.*

(Sumber: D. Dimargonas, Andrew, "Vibration for Engineers".2002)



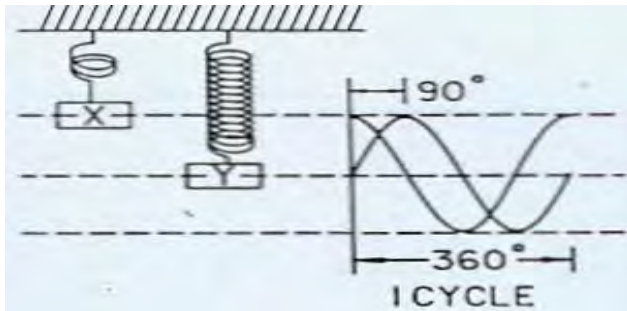
*Gambar 2.5. Percepatan Getaran.*

(Sumber: D. Dimargonas, Andrew, "Vibration for Engineers".2002)

Pada gambar 2.4. dapat dilihat bahwa kecepatan getaran berharga maksimum pada posisi netral dan berharga minimum (nol) pada titik puncak dan lembah. Sebaliknya pada gambar 2.5. dapat dilihat bahwa percepatan getaran berharga maksimum pada puncak atau lembah dari sinyal getaran dan berharga minimum (nol) pada posisi netral.

#### 4. Fase Getaran

Fase getaran didefinisikan sebagai posisi dari suatu benda yang bergetar terhadap suatu titik referensi atau benda bergetar yang lain. Untuk lebih jelasnya, fase getaran dapat diilustrasikan dengan gambar 2. 6. Pada gambar tersebut dapat dilihat adanya beda fase sebesar  $90^0$ . Dimana pada saat beban “X” berada pada puncak, beban “Y” berada pada posisi netralnya. Sehingga pada saat beban “X” bergerak turun, beban “Y” akan bergerak naik menuju titik puncaknya. Pada kondisi inilah dikatakan bahwa kedua sinyal getaran tersebut memiliki beda fase  $90^0$ . Dengan mengetahui fase getaran yang terjadi maka akan dapat diketahui adanya *imbalance*, *misalignment*, atau *looseness*.



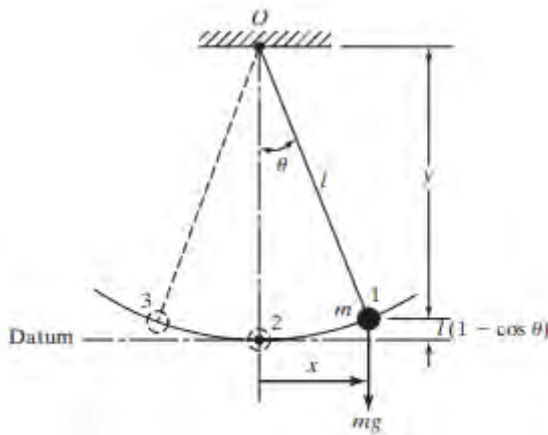
Gambar 2.6. Contoh Beda Fase  $90^\circ$ .

(Sumber: D. Dimargonas, Andrew, “*Vibration for Engineers*”, 2002)

### 2.2.3 Konsep Getaran Pendulum

Salah satu sebab getaran yaitu perpindahan dari energi potensial ke energi kinetik dan atau sebaliknya. Jika suatu sistem diredamkan, beberapa energi dihilangkan di siklus getaran yang lain dan akan diganti dengan sumber eksternal jika sebuah keadaan getaran tetap dipertahankan. Seperti pada gambar 2.3 posisi 1 kecepatan dari bandul dan karena itulah energi kinetik sama dengan nol. Tetapi energi potensial dari besarnya  $mg l(1 - \cos \theta)$  dengan datum pada posisi 2. Sejak gaya gravitasi  $mg$  termasuk sebuah torsi  $mg l \sin \theta$  pada titik O, bandul mulai berayun ke kiri dari posisi 1. Dari ayunan tersebut bandul menerima percepatan angular searah dengan

jarum jam, dan dengan waktu tertentu dapat mencapai posisi 2, energi potensial akan berubah menjadi energi kinetik. Karena bandul tidak akan berhenti pada posisi 2 tetapi akan berayun ke posisi 3. Besarnya osilasi (  $\theta$  ) berangsur - angsur akan menurun dan pendulum akan berhenti sampai ketahanan ( peredam ) sama dengan medium sekeliling ( udara ). Beberapa energi akan menghilang disiklus getaran yang lain sampai teredam oleh udara.



Gambar 2.3. Pendulum sederhana

(sumber : *Mechanical Vibration* 5<sup>th</sup>, Rao)

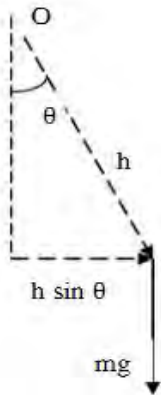
Titik minimum dari koordinat bebas dibutuhkan untuk menentukan posisi dari semua bagian dari sistem pada waktu



yang cepat menetapkan jumlah derajat kebebasan dari sebuah sistem.

### 2.3. Bandul Pendulum

Bandul pendulum adalah bandul yang berosilasi secara bebas pada suatu sumbu tertentu dari suatu benda rigid (kaku) sembarang. Pada bandul fisis, bentuk, ukuran dan massa benda tidak bisa diabaikan. Jika sebuah benda digantungkan pada poros O, kemudian diberi simpangan  $\theta$  dan dilepaskan, maka benda itu akan berosilasi karena adanya torka pulih sebesar dengan  $mg$  adalah gaya berat,  $h \sin \theta$  adalah  $-mgh \sin \theta$  dengan  $mg$  adalah gaya berat,  $h \sin \theta$  adalah lengan, dan  $h$  itu sendiri merupakan jarak antara poros ke pusat massa PM.



Gambar 2.8. Penentuan sudut

Gambar 2.8 menjelaskan tentang penentuan sudut bandul pendulum. Jika redaman diabaikan maka persamaan gerak dalam system bandul fisis ini adalah:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgh \sin \theta$$

Dengan  $I$  adalah suatu momen inersia benda rigid dihitung terhadap titik poros. Jika benda itu diberi simpangan kecil  $\theta$  maka  $\sin \theta \approx \theta$  sehingga persamaan gerak berubah menjadi:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgh}{I} \theta = 0$$

Solusi dari persamaan ini adalah

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgh}}$$

Dengan melakukan eksperimen bandul fisis ada tiga hal yang diperoleh yaitu:

1. Dapat menentukan momen inersia benda
2. Dapat mempelajari dalil sumbu sejajar untuk momen inersia
3. Dapat menentukan momen inersia dipusat massa

Menurut dalil sumbu sejajar:

$$I = I_{pM} + mh^2 = mk^2$$

Dengan  $I_{pm}$  adalah momen inersia terhadap pusat massa,  $I_{pm} = \frac{1}{12} ml^2$  untuk batang homogeny dan  $k$  adalah jari jari girasi terhadap titik pusat massa. Eksperimen dibagi menjadi 2 cara menentukan momen inersia pusat massa yaitu bandul fisis tanpa beban dan dengan menggunakan beban.

Bandul fisis dengan beban

Pada dasarnya eksperimen bandul fisis dengan beban ini sama persis dengan eksperimen tanpa beban dengan periode

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{(m + M)gh}}$$

Hanya saja letak pusat massa berubah

$$X_{PM} = \frac{m \times \frac{1}{2}l + ma}{m + M}$$

$a$  adalah jarak ujung batang ke pusat massa beban tambahan dan  $M$  massa beban tambahan.

Dengan mengukur periode pada kedua titik poros berbeda, dapat dicari percepatan gravitasi  $g$  yaitu:

$$g = \frac{4\pi^2(h_1^2 - h_2^2)}{T_1^2 h_1 - T_2^2 h_2}$$

Dengan  $T_1$  dan  $T_2$  adalah periode osilasi pada bandul fisis pada masing masing jarak  $h_1$  dan  $h_2$  dari pusat massa.

#### **2.4. Motor Listrik**

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Perubahan energi ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektromagnet. Motor listrik memiliki berbagai macam output putaran sesuai dengan kebutuhan penggunaan. Dalam kasus rancang bangun PLTGL-SB ini fungsi dari motor listrik adalah sebagai pengganti dari simulasi gelombang yang terdapat di laut. Sehingga, output putaran dari motor harus disesuaikan dengan periode dari gelombang laut.

#### **2.5. Ponton**

Ponton adalah suatu benda yang dapat mengapung di permukaan air dengan gaya apung yang cukup sesuai dengan bebannya. Ponton biasanya dibuat dalam suatu konstruksi berbentuk silinder. Pada permodelan PLTGL-SB kali ini, ponton dibuat dalam bentuk plat datar.

#### **2.6. Generator Elektrik**

Generator elektrik adalah alat yang dapat menimbulkan sumber tegangan atau dapat diartikan sebagai sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber

energi mekanikal, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik.

Dalam rancang bangun simulator PLTGL-SB terdapat sistem generator elektrik yang diletakkan di dalam ponton. Sistem generator elektrik ini bekerja menggunakan putaran poros yang merupakan penyangga pendulum. Ketika ponton bergerak akibat putaran motor, maka akan memutar pendulum. Putaran pendulum akan memutar poros penyangganya, dimana poros penyangga ini langsung berhubungan dengan generator. Yang kemudian dapat menghasilkan energi listrik untuk berbagai macam aplikasi

## **2.7. Poros**

Poros adalah merupakan bagian/ elemen mesin yang dalam penggunaannya dapat berfungsi meneruskan tenaga, penggerak klep (*camshaft*), penghubung dan lain sebagainya. Roda gigi, pulley, roda gila (*fly wheel*), cam dan lain-lain merupakan komponen-komponen yang membebani poros dengan berbagai kombinasi baik secara posisi dan beban.

Untuk itu penting direncanakan diameter poros berdasarkan dengan momen bending dan distribusi torsi sepanjang poros. Diameter dari poros tergantung pada kombinasi tegangan sebagai akibat momen bending dan torsi yang ditimbulkan. Berdasarkan hal tersebut, maka lokasi

persis / tepat sepanjang poros dimana terjadi tegangan maksimum terjadi sering kali tidak pasti. Oleh karena itu penting sekali dilakukan penggambaran tegangan geser dan diagram momen untuk mengetahui titik pada sepanjang poros dimana terjadi momen maksimum.

Setelah dilakukan hal tersebut di atas maka untuk menentukan besarnya diameter poros dapat dilakukan berdasarkan rumus-rumus berikut. Tegangan geser maksimum dari sebuah tabung solid dapat dinitung dengan :

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + r^2}$$

dimana :

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi D^3} \text{ dan } \tau = \frac{16T}{\pi D^3}$$

untuk poros berupa silinder yang berlubang maka :

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi D_o^3 (1 - (D_i/D_o)^4)} \text{ dan } \tau = \frac{16T}{\pi D_o^3 (1 - (D_i/D_o)^4)}$$

maka dengan menggunakan teori kegagalan tegangan geser maksimum dan mengganti  $\sigma_x$  dan  $\tau$  maka dari persamaan di atas kita peroleh :

$$\tau_{max} = \frac{0.55S_{yp}}{N} = \frac{16}{\pi D_o^3 (1 - (D_i/D_o)^4)} \sqrt{M^2 + T^2}$$

dimana :

$\tau_{max}$  : tegangan geser maksimum (dari Lingkaran Mohr's)

$S_{yp}$  : tegangan luluh dari material

$N$  : faktor keamanan

$D_o$  : diameter luar poros

$D_i$  : diameter dalam poros

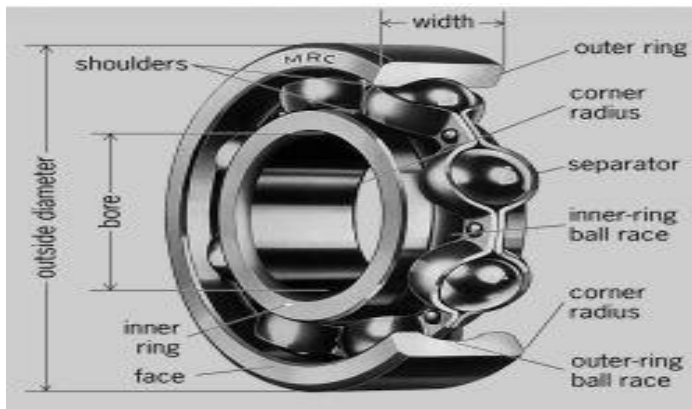
$M$  : momen bending yang ada

$T$  : torsi poros

Berdasarkan dari persamaan-persamaan di atas maka dapat direncanakan besarnya diameter poros minimal yang harus digunakan agar syarat keamanannya terpenuhi.

## 2.8. Bantalan

Bantalan yang digunakan untuk perencanaan ini adalah bantalan gelinding (*rolling bearing*), sering juga disebut sebagai bantalan anti gesek, karena bantalan ini dalam beoperasinya mendukung beban sehingga tidak terjadi gesekan ataupun kalau terjadi gesekan akan kecil sekali. Bantalan gelinding sendiri dikategorikan menjadi 3 macam, yaitu *radial ball bearing*, *angular contact ball bearings* dan *thrust ball bearing*. Dalam pokok bahasan ini bantalan gelinding yang digunakan yaitu *radial ball bearings*.



*Gambar 2.9. Radial Ball Bearing*

(Sumber:

<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/antifriction+bearing>)

Pada gambar 2.9 ditunjukkan sebuah *radial ball bearing* beserta istilah-istilah di dalamnya. *Radial ball bearings* didesain untuk men-support beban radial, mempunyai kedalaman lintasan bola yang kontinyu sepanjang keliling dari ring. Jenis ini juga dapat mensupport beban aksial pada poros untuk semua arah. Pada kenyataannya kapasitas beban aksial yang dapat diterima oleh *radial ball bearings* yaitu sampai dengan 70% dari beban radial yang ada.



Pengujian secara ekstensif pada bantalan gelinding dan sesuai dengan analisa statistik diperoleh bahwa beban dan umur bantalan relatif tetap. Dari hal tersebut maka didapatkan persamaan :

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^b$$

dimana :

$L_{10}$  : tingkat umur dalam jutaan kali putaran dimana terjadi 10% kerusakan

$C$  : beban dasar

$P$  : koefesien gesek

$F_o$  : beban ekuivalen

$b$  : 3.0 untuk *ball bearings*, 21/3 dan 10/3 untuk *roller bearings*

dan untuk penentuan umur bantalan dalam satuan jam, maka persamaan di atas menjadi :

$$L_{10} = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^b$$

dimana :  $n$  : kecepatan putaran dalam rpm

dan besarnya beban ekuivalen ( $P$ ) sendiri adalah :

$$P = XF_r + YF_a$$

dimana :

$F_r$  : gaya ke arah radial (melintang poros)

$F_a$  : gaya ke arah aksial (sepanjang poros)

$V$  : faktor rotasi : 1.0 untuk *inner ring rotation*, 1.2 untuk *outer ring rotation* dan untuk *self-aligning ball bearing* digunakan 1 untuk *inner* dan *outer ring rotation*.

$X$  : faktor beban radial

$Y$  : faktor beban aksial (poros)

Dan jika kompoenen aksial jauh lebih kecil dari komponen radial persamaan di atas menjadi :

$$P = VF_r$$

Dari persamaan-persamaan di atas maka dapat dianalisa ketahanan bantalan yang digunakan dalam perencanaan.

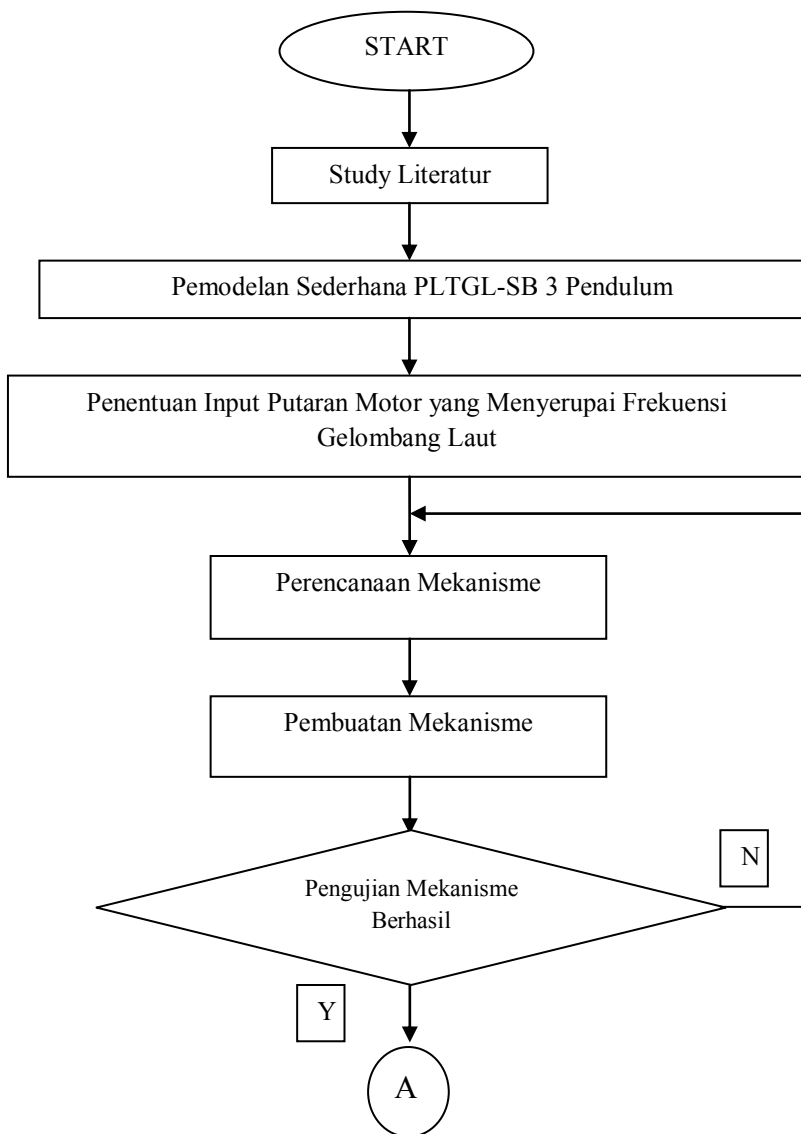
## **BAB III**

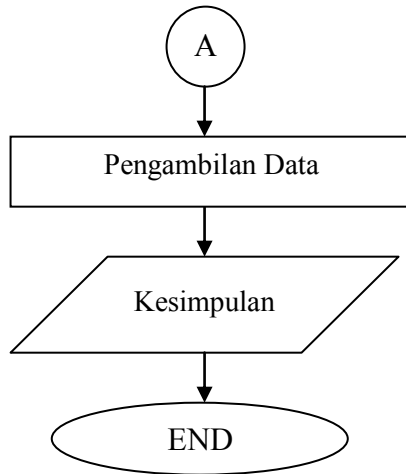
### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Diagram Alir Penelitian**

Untuk dapat mencapai tujuan rancang bangun mekanisme sistem PLTGL-SB dengan tipe tiga pendulum ini diperlukan tahapan-tahapan yang sistematis agar mempermudah dalam pembuatan prototype maupun penyusunan laporan, maka dibuatlah diagram alir penelitian secara global seperti pada gambar 3.1 dibawah ini :

### 3.1.1 Flowchart Penelitian





*Gambar 3.1. Flowchart Penelitian*

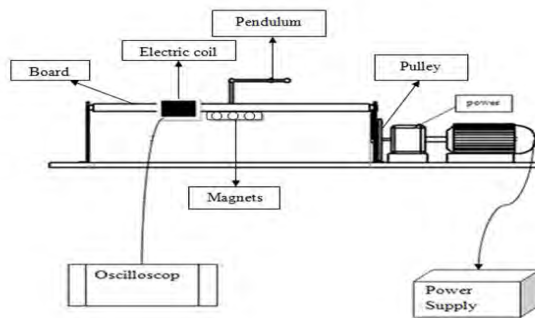
### **3.1.2. Penjelasan Flowchart Penelitian**

#### **3.1.2.1. Studi Literatur**

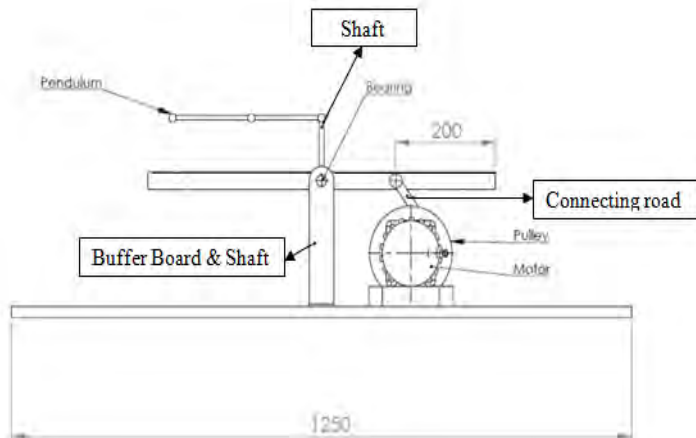
Sebelum dilakukan penelitian, dilakukan beberapa studi mengenai beberapa literatur dan referensi yang berkaitan dengan getaran *single degree of freedom* dan pergerakan pendulum. Literatur yang dipelajari berupa tugas akhir, jurnal, diktat perkuliahan dan *textbook*.

#### **3.1.2.2. Pemodelan Sederhana dari PLTGL – SB Tiga Pendulum**

Pada prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ini, gelombang laut dibuat dengan suatu mekanisme seperti terlihat pada gambar berikut:



*Gambar 3.2. Pemodelan 2D Mekanisme (Tampak Depan)*



*Gambar 3.3. Pemodelan 2D Mekanisme (Tampak Samping)*

Ponton dibuat dalam bentuk plat datar. Pergerakan ponton merupakan simulasi dari gerak gelombang laut. Ponton dibatasi hanya dapat dibatasi dalam arah sumbu x dan y saja, sehingga pergerakannya menyerupai suatu jungkat – jungkit. Penggerak ponton ini menggunakan motor DC. Sebuah generator diletakkan di dalam ponton, yang dihubungkan dengan pendulum melalui sebuah poros vertikal memanjang.

Mekanisme kerja dari gambar 3.2 dan 3.3 tersebut berasal dari putaran motor penggerak. Jika motor berputar, akan diteruskan pada sebuah pulley. Antara pulley dengan ponton dihubungkan oleh *connecting rod*, dimana *connecting rod* inilah yang membuat sudut olakan ponton. Kemudian ponton akan bergerak jungkat-jungkit. Pergerakan ponton akan memutar pendulum, dan dari perputaran pendulum akan memutar poros penyangga di bawahnya. Nantinya perputaran poros inilah yang akan memutar generator dan kemudian menghasilkan energi listrik.

### **3.1.2.3. Penentuan Input Putaran Motor yang Menyerupai Frekuensi Gelombang Laut**

Pada realitanya pada PLTGL-SB, inputan gerak ponton berasal dari gelombang laut yang seringkali tidak beraturan dan bisa datang dari berbagai sisi ponton datar. Kompleksnya pergerakan gelombang laut disederhanakan

untuk menjadi batasan masalah mengenai input gerak ponton. Pada simulator ini gerakan tersebut diakibatkan adanya gerakan rotasi dari motor DC yang dikonversi menjadi gerakan translasi. Agar dapat menjadi simulasi dari gelombang laut, maka putaran output motor harus disesuaikan dengan karakteristik gelombang laut yang ada.

Penjelasan pembahasan di atas sebagai berikut :

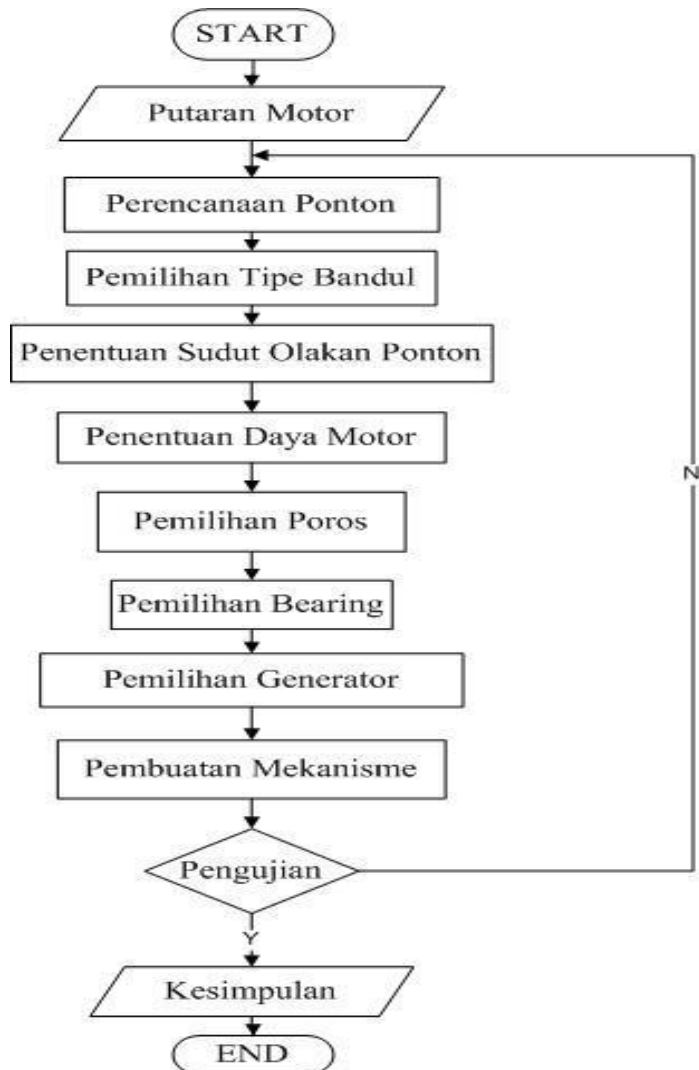
$$f = \frac{1}{T}$$

Dengan menggunakan periode (T) yang sudah didapatkan dari penelitian sebelumnya didapatkan tiga periode dalam gelombang laut, yaitu 3,6 dan 9. Maka frekuensi masing-masing akan didapatkan dengan di hitung menggunakan rumus tersebut.

#### **3.1.2.4. Perencanaan Mekanisme**

Proses perencanaan desain awal simulator dilakukan dengan menggunakan *software* autocad. Kemudian dilanjutkan dengan perencanaan bagian – bagian penyusun dari mekanisme, baik untuk perencanaan geometri, analisa kekuatan maupun analisa kinematikanya. Untuk lebih detail dari tahap perencanaan ini dapat dilihat pada flowchart berikut:

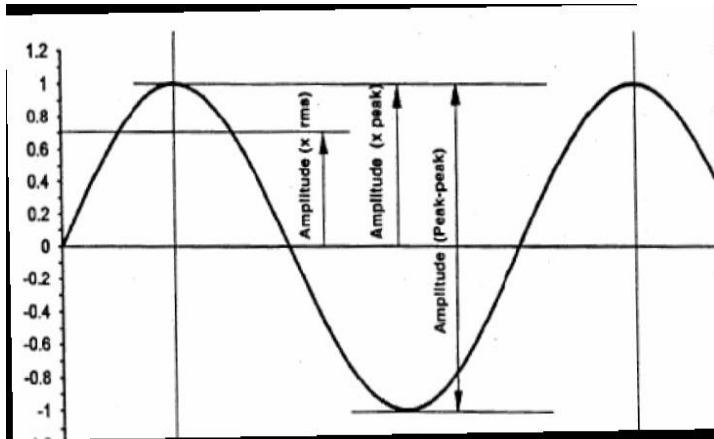




**Gambar 3.4.**Flowchart Perencanaan Mekanisme

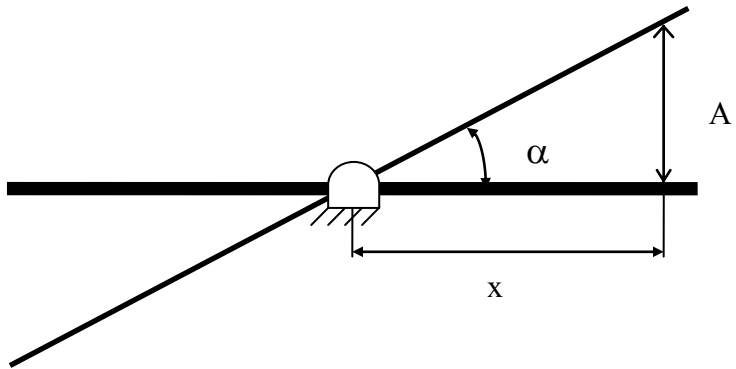
## 1. Penentuan Sudut Olakan Ponton

### Panjang Gelombang



*Gambar 3.5. Amplitudo Gelombang*

Dari gambar 3.5. di atas, nilai  $\alpha$  dapat dicari dengan menggunakan theorema pythagoras dimana:



*Gambar 3.6. FBD Amplitudo Gelombang*

Keterangan :  $A$  = Amplitudo ,  $\alpha$  = Sudut Ponton ,  
 $x$  = Jarak Pusat Bandul dengan Ponton

$$\operatorname{tg} a = \frac{A}{x} \quad \dots(3.1)$$

$$a = \operatorname{arc} \sin \frac{A}{x} \dots(3.2)$$

Untuk mencari  $x$  , harus diketahui panjang gelombang ( $\lambda$ ) terlebih dahulu. Untuk mencari panjang gelombang ( $\lambda$ ) dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\lambda = g \times T \times \frac{T}{2\pi} \dots(3.3)$$

Maka  $x$  adalah :

$$x = \frac{1}{4} \lambda \dots(3.4)$$

Dari data yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, diperoleh data bahwa amplitudo gelombang laut Indonesia berkisar antara 0,25 – 0,75 m. Dalam penelitian kali ini untuk menentukan sudut olakan ponton digunakan amplitudo gelombang laut sebesar 0,75m, dan nilai periode gelombang laut yang telah diketahui sebelumnya yaitu 3, 6, 9 s.

Dengan memasukkan data yang telah diketahui ke dalam persamaan – persamaan di atas menggunakan urutan 3.4., 3.3., 3.1., 3.2., didapat nilai  $\alpha$  yang bervariasi, yaitu  $12^0$ ,  $3^0$  dan  $1^0$ . Sesuai dengan batasan masalah, dimana nilai olakan sudut ponton dibuat tetap, maka dipilih olakan sebesar  $12^0$ .

## 2. Penentuan Daya Motor

Sebelum menentukan daya motor yang diperlukan, perlu terlebih dahulu dilakukan analisa kinematika dari seluruh sistem PLTGL-SISTEM TIGA BANDUL ganda ini. Setelah itu akan diperoleh besarnya torsi (T) yang bekerja pada motor. Jika nilai torsi ditemukan baru dihitung daya yang dibutuhkan dengan rumus:

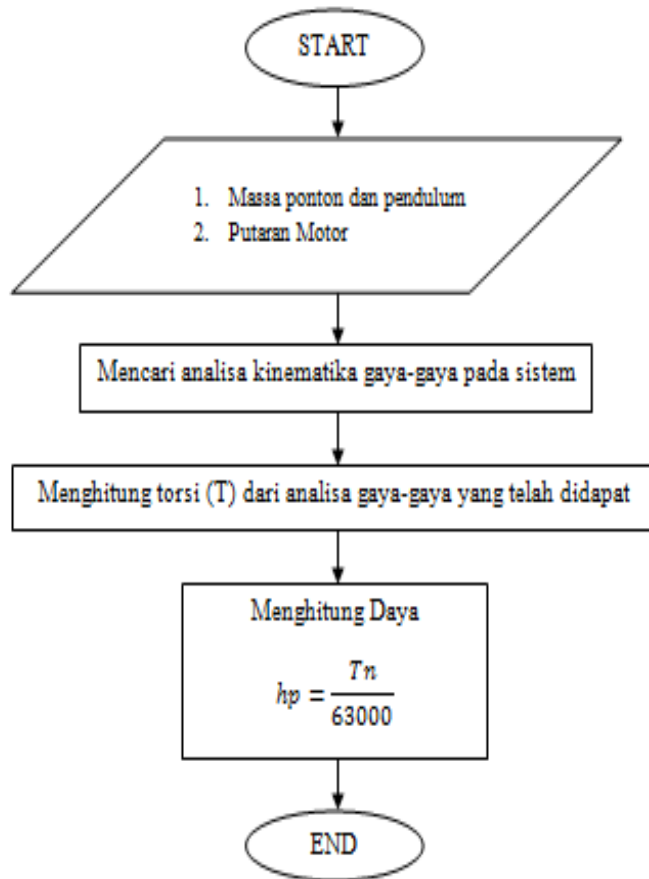
$$hp = \frac{Tn}{63.000}$$

dimana:            hp            = daya dalam horsepower

T = Torsi

n = putaran

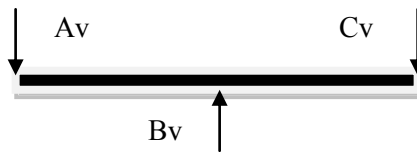
Berikut diagram alir perhitungan daya:



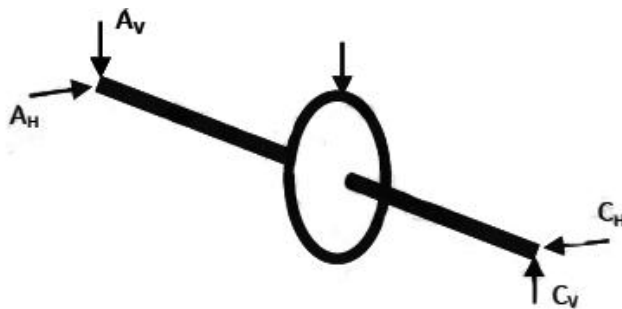
Gambar 3.7. Flowchart Penentuan Daya Motor

### 3. Pemilihan Poros

Pada pemilihan poros yang perlu diperhatikan adalah mengenai perhitungan poros, kita menganalisa setiap gaya yang ada pada poros. Untuk memudahkan perhitungan gaya-gaya yang ada pada poros dibagi menjadi dua bagian, yaitu gaya arah horizontal dan gaya arah vertical seperti gambar dibawah :



*Gambar 3.8. Skema Arah Gaya Vertikal*



*Gambar 3.9. Skema Arah Gaya Horizontal dan Vertikal*

Pada perancangan roda gigi didapat berat roda gigi, lebar roda gigi, gaya tangensial dan gaya radial pada roda gigi. Dari perancangan ini dapat dicari momen bending terbesar pada poros dengan rumus  $\Sigma M = 0$ ,  $\Sigma F_x = 0$ ,  $\Sigma F_y = 0$ . Setelah itu penentuan pemilihan material dengan melihat buku *Machine Design, Deutschman*. Dari tabel Appendix A-2 Hal 870. Setelah mengetahui material yang dipilih maka langkah selanjutnya menentukan **working endurance limit** dengan rumus :

$$S_e = \frac{1}{k_f} \times S'_n \times C_R \times C_S \times C_W$$

Setelah menentukan Working endurance limit maka dapat dicari syarat diameter minimal poros agar aman sesuai dengan rumus :

$$D_o^3 \geq \frac{32N}{\pi S_{yp}} \left[ \left( \frac{S_{yp}}{S_e} M^* \right)^2 + T^{*2} \right]^{1/2}$$

$$M^* = K_s K_f M_r \quad T^* = K_s K_f T_{max}$$

#### 4. Pemilihan Bearing

Didalam pemilihan bearing perlu diperhatikan mengenai perhitungan umur bearing, pertama-tama harus

mengetahui jenis bearing dan dimensi dari bearing meliputi diameter dalam, diameter luar, dan beban dinamisnya, dimana beban dinamis didapat dari buku *Machine Design*, pada tabel 9-3 Halaman 477. Setelah itu menentukan pula gaya radial resultan dengan rumus:

$$F_r = \sqrt{F_y^2 + F_z^2}$$

gaya aksial resultan, dan beban ekivalen (P) dengan rumus:

$$P = F_s(X.V.F_r + Y.F_a)$$

dimana:  $F_r$  = Gaya radial ;  $F_a$  = Gaya Aksial.

$F_s$  = Faktor kerja *bearing*, dari tabel 9-8 buku *Machine Design* halaman 489.

$V$  = Faktor putaran = 1,0 untuk *inner ring rotation* dan = 1,2 untuk *outer ring rotation*

$X$  = Faktor beban radial, dari tabel 9-5, 9-6, 9-7 buku *Machine Design* hal. 487 – 488.

$Y$  = Faktor beban *thrust*, dari tabel 9-5, 9-6, 9-7 buku *Machine Design* hal. 487-488.

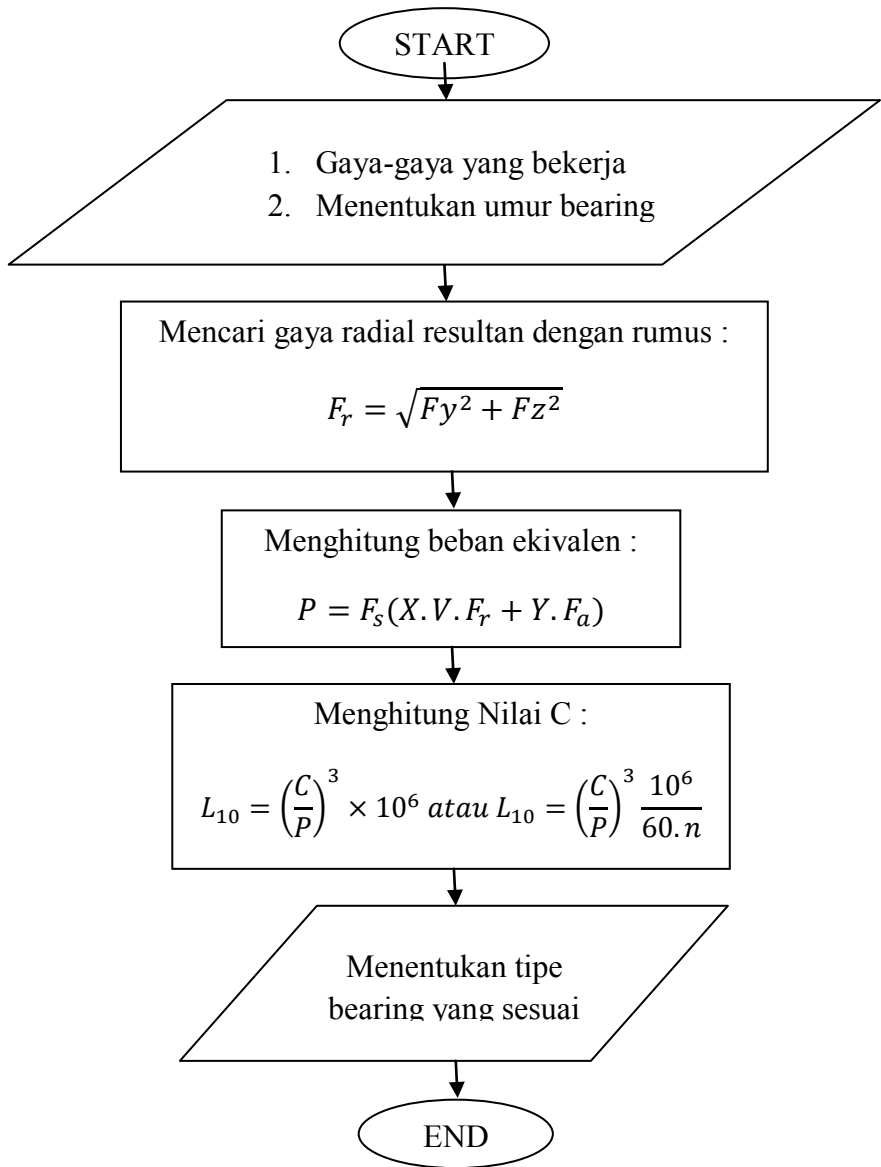
Setelah itu barulah itu dapat dihitung umur bearing dengan rumus:



$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \times 10^6 \text{ dengan Satuan putaran,}$$

$$\text{Atau } L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \frac{10^6}{60.n}$$

Flowchart pemilihan bearing



Gambar 3.11. Flowchart Pemilihan Bearing

### **3.1.2.5. Pembuatan Mekanisme**

Dalam pembuatan mekanisme, ponton akan dibuat dari material acrylic. Pada masing-masing sisi samping ponton dipasang sebuah poros. Bantalan juga diberikan pada tiap poros yang kemudian disangga dengan penyangga poros. Mekanisme tersebut nantinya diharapkan dapat menghasilkan gerak jungkat-jungkit pada ponton. Input gerakan berasal dari sebuah motor yang disambung ke pulley. Antara pulley dengan tepi ponton dihubungkan menggunakan connecting rod.

### **3.1.2.6. Pengujian Mekanisme**

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap mekanisme yang telah dibuat, apakah telah sesuai dengan hasil yang diharapkan. Jika telah sesuai, maka desain sistem dianggap sudah berhasil. Namun jika tidak, maka harus dilakukan pengecekan ulang atau bahkan perencanaan (pendesainan) ulang.

## **3.2 Metodologi Percobaan**

### **3.2.1 Bahan dan Alat Percobaan**

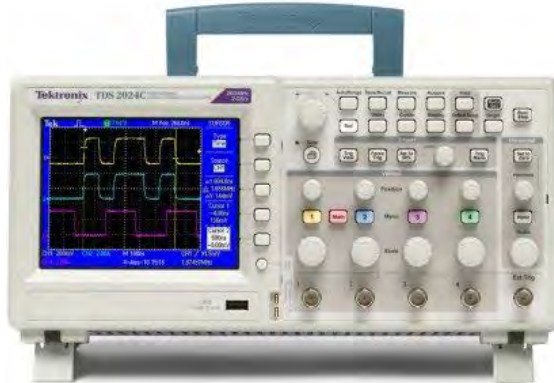
Bahan-bahan dan alat yang digunakan dalam percobaan ini adalah :

1. *Oscilloscope*
2. *Power Supply*
3. Batang Pendulum ( 3 buah )

#### 4. Bandul Pendulum ( 3 Buah )

##### 1. Oscilloscope

*Oscilloscope* berfungsi untuk menampilkan grafik Voltase yang dihasilkan oleh generator.



*Gambar 3.12 Oscilloscope*

##### 2. Power Supply

Power supply adalah alat yang digunakan untuk memberikan voltase inputan untuk motor penggerak.



*Gambar 3.13POWER SUPPLY*

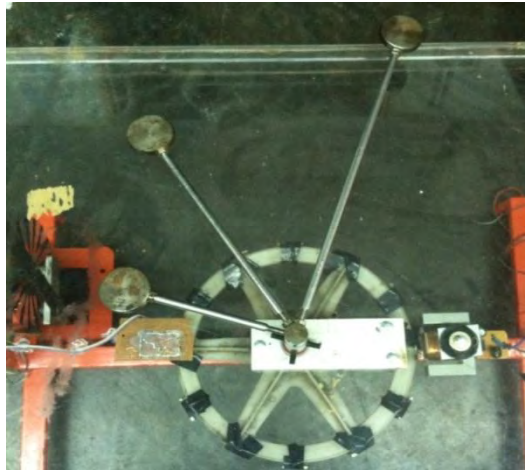
3. Batang Pendulum

Panjang dari batang pendulum pada percobaan ini divariasikan dengan rincian sebagai berikut :

- Batang pendulum 1 ,  $L1 = 30 \text{ cm}$
- Batang Pendulum 2 ,  $L2 = 20 \text{ cm}$
- Batang Pendulum 3 ,  $L3 = 10 \text{ cm}$

#### 4. Bandul Pendulum

Massa dari bandul pendulum pada simulasi atau percobaan ini dibuat sama yaitu pada tiap-tiap bandul memiliki massa 100gr dengan jumlah tiga buah bandul pendulum. Jadi massa total bandul pendulum adalah 300gr.



*Gambar 3.14 Batang Dan Bandul Pendulum*

#### 5. Motor Listrik DC

Motor listrik yang digunakan pada rangkaian ini adalah motor listrik DC. Pemilihan untuk menggunakan motor listrik dari motor power window dikarenakan dibutuhkan torsi yang besar untuk menggerakkan papan. Dengan torsi besar dari power window ini berpengaruh terhadap

putaran yang dihasilkan untuk menggerakkan papan. Putaran yang diinginkan dalam simulasi ini dapat dikatakan tidak terlalu besar. Maka motor power window inilah yang tepat untuk simulasi pada alat ini.



*Gambar 3.15 Motor Listrik DC*

### **3.2.2. Pengambilan Data**

Pengambilan data dilakukan ketika pendulum berputar akibat gerakan jungkt jungkit dari papan olakan yang bergerak akibat putaran motor dengan variasi Parameter sebagai berikut :

$L1 = 30 \text{ cm}$        $M1 = 100 \text{ gr}$        $Rp1 = 4 \text{ cm}$        $n \text{ motor} = 15 \text{rpm}$

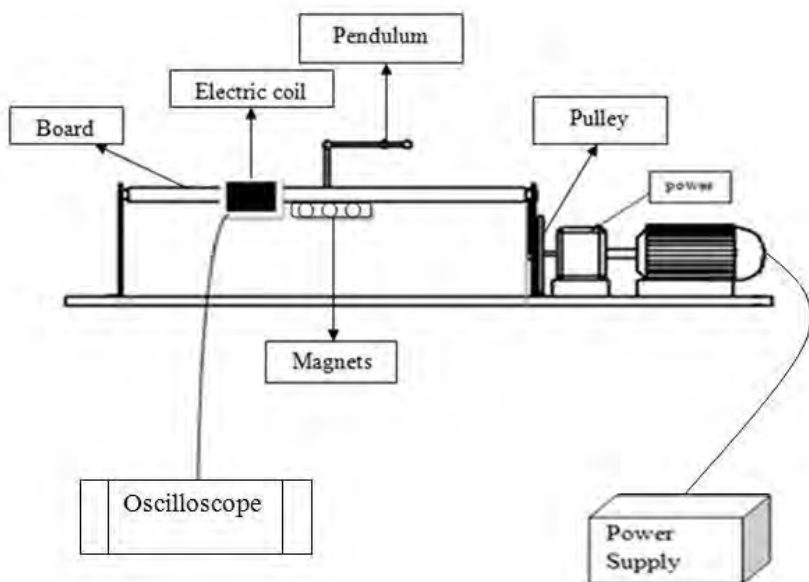
$L2 = 20 \text{ cm}$        $M2 = 100 \text{ gr}$        $Rp2 = 6 \text{ cm}$

$L = 10 \text{ cm}$        $M = 100 \text{ gr}$

Keterangan :     $L$  = Panjang Batang Lengan Pendulum

$M$  = Massa Pendulum

$R_p$  = Jari-jari Pulley

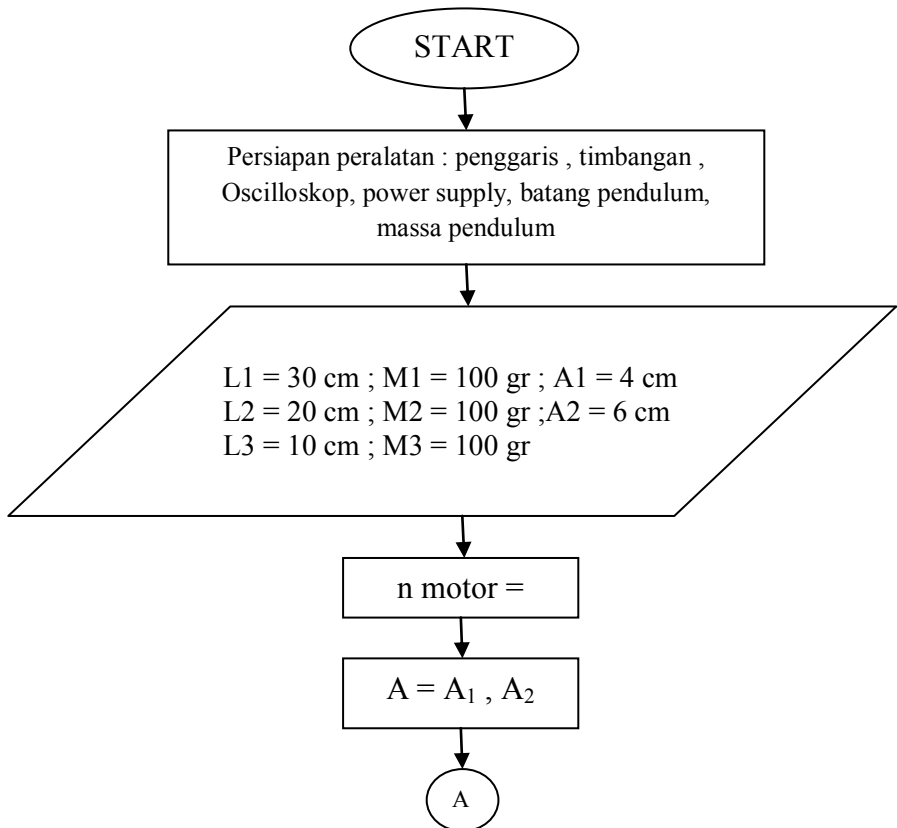


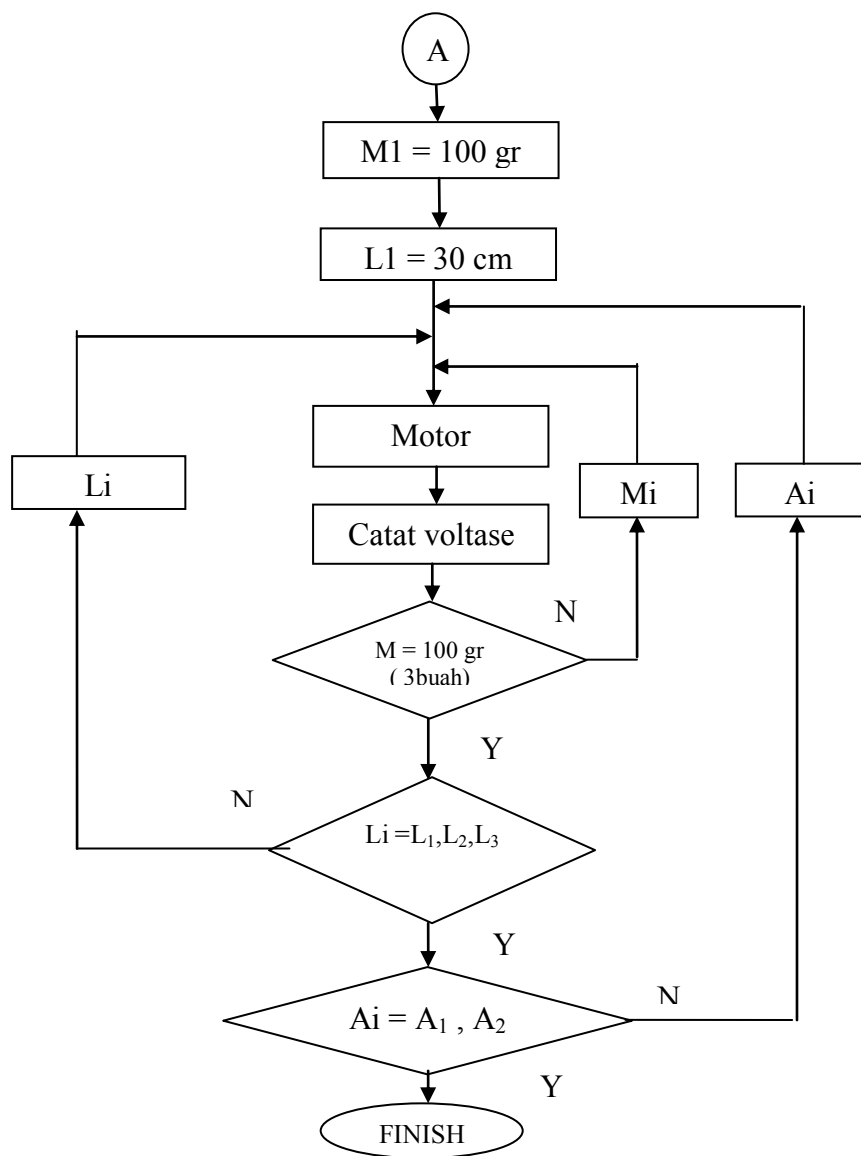
*Gambar 3.16 Skema Percobaan*



Gambar 3.15 menunjukkan skema percobaan. Skema ini sebagai gambaran dari rancang bangun simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

Urutan metodologi percobaan dapat dijelaskan pada flowchart berikut :

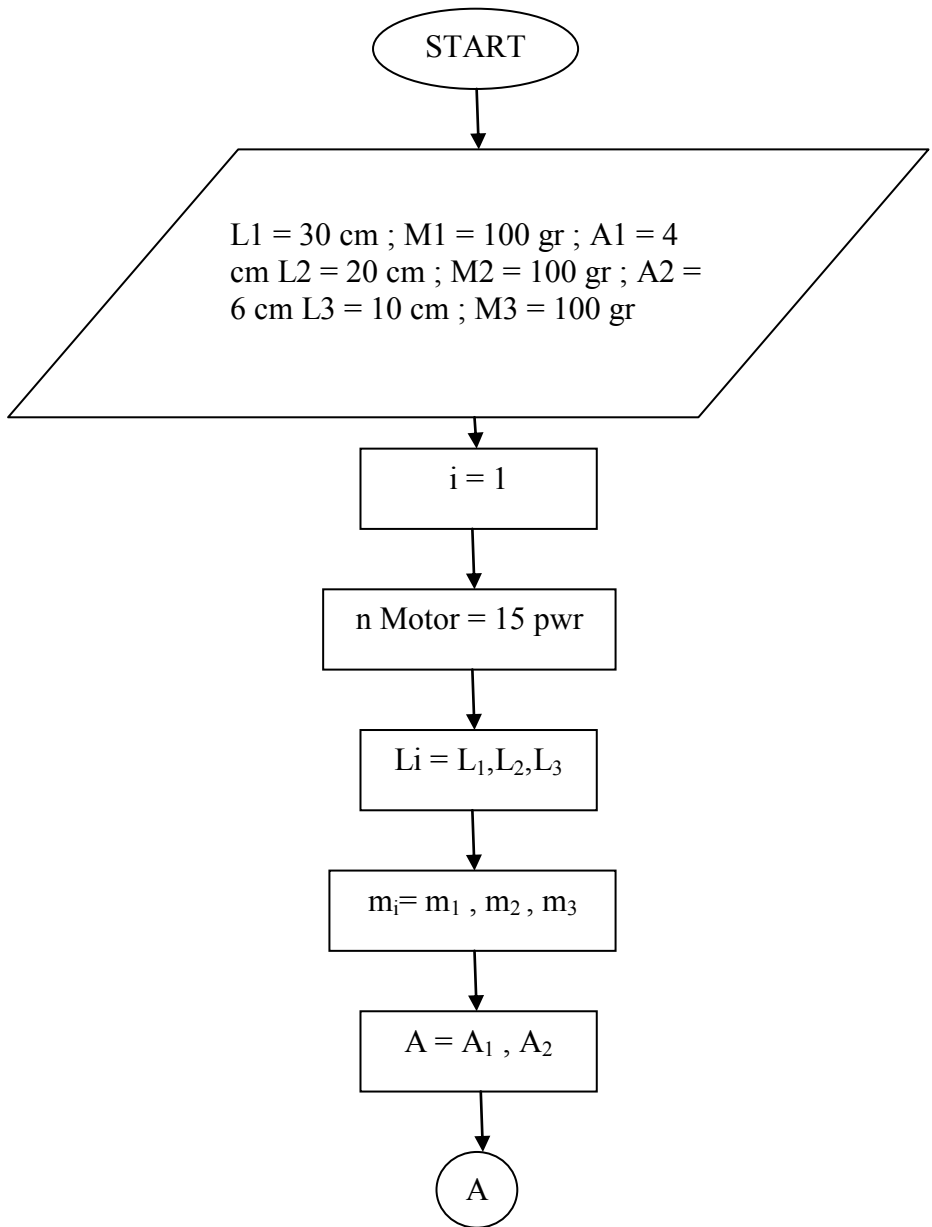


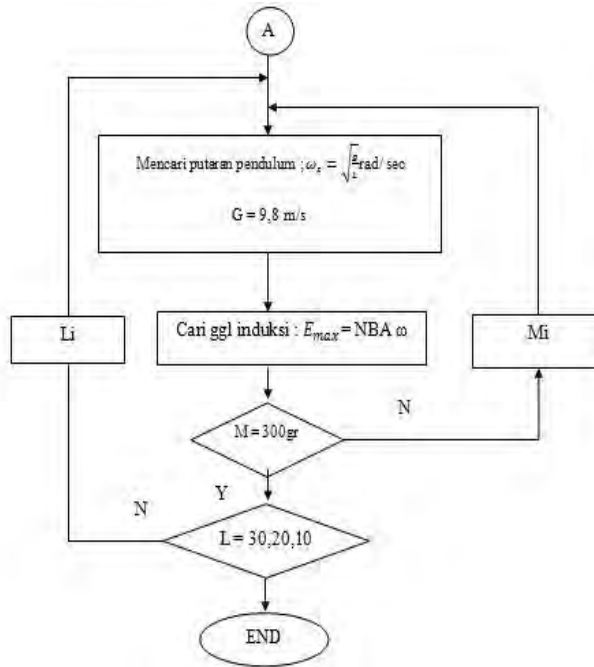


Gambar 3.17 Flowchart Percobaan

### **3.2.3 Metodologi Perhitungan**

Untuk menentukan energi listrik yang akan dihasilkan dari proses perhitungan akan dipakai rumus getaran pendulum sederhana dan rumus ggl induksi generator. Urutan-urutan perhitungan dijelaskan dalam flowchart berikut.





Gambar 3.18. Flowchart Perhitungan

Perhitungan deviasi standar atau akar rata-rata voltase outputan motor bisa diketahui dengan menggunakan rumus RMS ( root mean square) sebagai berikut :

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} (X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2)}$$

Perhitungan rata-rata voltase juga bisa dilakukan dengan menggunakan aplikasi Excel. Formula Formula excel :  
=SQRT((SUM...)/2500)

### 3.3. Perencanaan Penyusunan Tugas Akhir

Dalam penyusunan tugas akhir, perlu adanya perencanaan mengenai analisa, pengambilan kesimpulan dan penyusunan laporan tugas akhir. Berikut penyusunan tugas akhir tersebut:

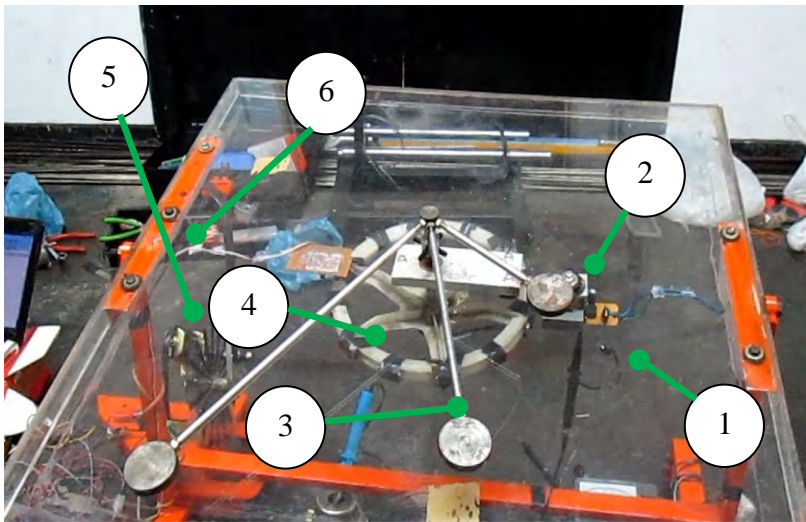
| No | Kegiatan   | Bulan ke- |    |    |    |   |   |   |   |
|----|--|-----------|----|----|----|---|---|---|---|
|    |  | 9         | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1  | Study Literatur  |           |    |    |    |   |   |   |   |
| 2  | Perancangan Mekanisme Simulator PLTGL-SB tiga pendulum |           |    |    |    |   |   |   |   |
| 3  | Pembuatan Mekanisme                                    |           |    |    |    |   |   |   |   |
| 4  | Pengujian Mekanisme                                    |           |    |    |    |   |   |   |   |
| 5  | Analisa Hasil  |           |    |    |    |   |   |   |   |
| 6  | Penyusunan Bab 4 dan Bab 5                             |           |    |    |    |   |   |   |   |
| 7  | Sidang Tugas Akhir                                     |           |    |    |    |   |   |   |   |
| 8  | Asistensi Dosen Pembimbing TA                          |           |    |    |    |   |   |   |   |
| 9  | Revisi dan Pengumpulan Laporan Tugas Akhir             |           |    |    |    |   |   |   |   |

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISA

#### 1.1 Prototipe Simulator PLTGL Sistem Bandul

Untuk dapat mencapai hasil dari penelitian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul (PLTGL-SB) maka diperlukan pembuatan simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul agar mempermudah dalam pengambilan data dan penelitian maupun penyusunan laporan. Berikut ini adalah gambar simulator PLTGL-SB dengan sistem tiga bandul.



*Gambar 4.1 Simulator PLTGL-SB*

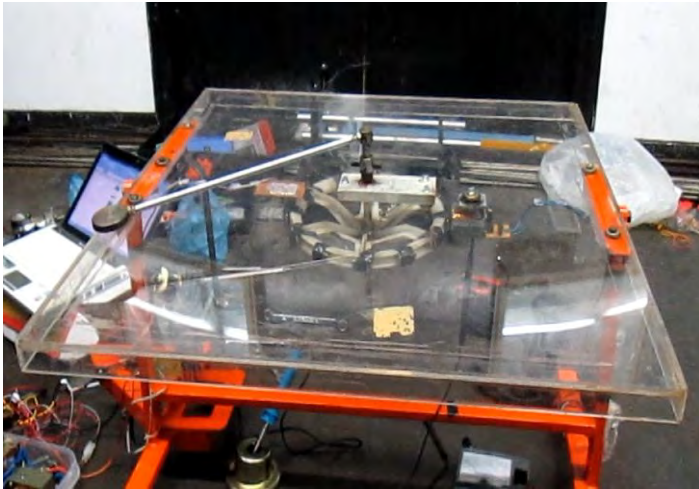
- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. <i>Board</i>         | 4. <i>Magnet</i>         |
| 2. <i>Electric Coil</i> | 5. <i>Pulley</i>         |
| 3. <i>Pendulum</i>      | 6. <i>Connecting Rod</i> |

Gambar 4.1 menunjukkan Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul (PLTGL-SB). Simulator ini sengaja dirancang menggunakan papan datar. Pada pengujian simulator ini kurang lebih bergerak seperti jungkat-jungkit. Maka papan pada simulator ini mewakili adanya pergerakan ombak laut. Adapun bagian-bagian dari Simulator ini dipergunakan untuk menunjang penelitian dan pengambilan data pada saat pengujian berlangsung.

Bagian-bagian simulator terdiri dari papan datar (board), kumparan listrik (Electric Coil), bandul (Pendulum), Magnet, Pulley dan Connecting Road. Papan ini terbuat dari akrilik. Pemilihan bahan akrilik dikarenakan akrilik merupakan poli (metil meta crylate) yang sifatnya transparan, termoplastik, idensitasnya  $1,18 \text{ gr/cm}^2$ . Jika dibandingkan dengan baja material akrilik lebih ringan tetapi tidak tahan suhu tinggi. Kumparan listrik dan magnet merupakan generator fungsinya sebagai pembangkit listrik. Bandul pada simulator PLTGL-SB ini berjumlah tiga buah yang massa tiap bandulnya adalah 100gr. Bandul bisa dibongkar pasang sehingga massa bisa divariasikan. Pulley digunakan untuk



menentukan titik amplitudo pada simulator. Connecting Rod merupakan batang yang menghubungkan papan dan motor listrik. Motor listrik sebagai gaya eksitasi.



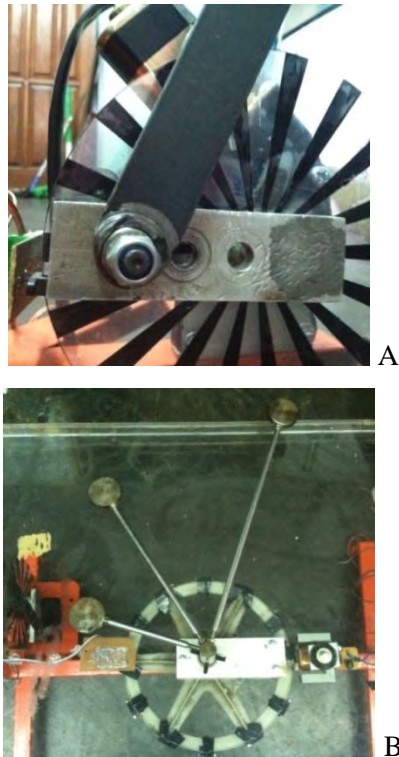
*Gambar 4.2 Instalasi Pengujian Simulator PLTGL-SB*

Gambar 4.2 merupakan gambar keseluruhan dari Instalasi Pengujian Simulator PLTGL-SB. Pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *Oscilloscope*. Hasil dari *Oscilloscope* akan menunjukkan nilai dari voltase atau daya bangkitan yang dihasilkan pada simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandul.

Pengujian dari simulator dilakukan dengan memvariasikan massa dan lengan pendulum. Perancangan massa dan lengan pendulum dibuat sengaja bisa dibongkar pasang agar pengujian bisa dilakukan dengan dua variasi, yaitu dengan satu bandul dan tiga bandul. Adapun variasi dari amplitudo pada simulator menunjukkan besar ketinggian dari gelombang laut. Penentuan amplitudo pada simulator diletakkan pada pulley. Pada pulley terdapat dua titik amplitudo pada simulator pembangkit listrik gelombang laut sistem bandul yaitu, 4cm dan 6cm dari titik pusat pulley. Connecting rod berfungsi menghubungkan papan datar dan pulley yang akan menghasilkan gerakan ketika motor penggerak dinyalakan dan gerakan dari papan datar ini akan mengakibatkan pergerakan pada bandul. Hasil outputan generator pada bandul akan diukur dengan Oscilloscope.

Beberapa aspek pengujian yang divariasikan, yaitu :

- Amplitudo ;  $A_1 = 4 \text{ cm}$  dan  $A_2 = 6 \text{ cm}$ .
- Massa Bandul ;  $M_1$ ,  $M_2$  dan  $M_3 = 100 \text{ gr}$
- P. Lengan Pendulum ;  $L_1 = 10 \text{ cm}$  ,  $L_2 = 20 \text{ cm}$  dan  $L_3 = 30 \text{ cm}$



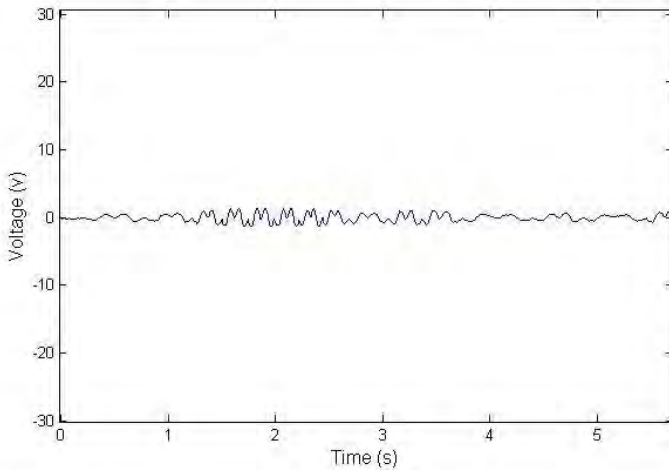
*Gambar 4.3 (A) Variasi Amplitudo (B) Variasi Massa  
Bandul Dan Panjang Lengan Pendulum*

Gambar 4.3 (A) menunjukkan adanya variasi pada amplitudo. Amplitudo disengaja divariasikan untuk menunjukkan hasil gerakan dari ponton. Amplitudo divariasikan dengan cara memberikan beberapa titik pada lengan plat datar yang dilubangi dengan jarak dari titik pusat

motor sebesar 4cm dan 6cm . Pada gambar 4.3 (B) merupakan variasi massa bandul yang nantinya akan diujikan dalam simulator ini. Hasil variasi bandul ini akan menentukan bahwa gerakan putaran pada simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul.

## 4.2 Hasil Pengujian Karakteristik PLTGL – Sistem Bandul

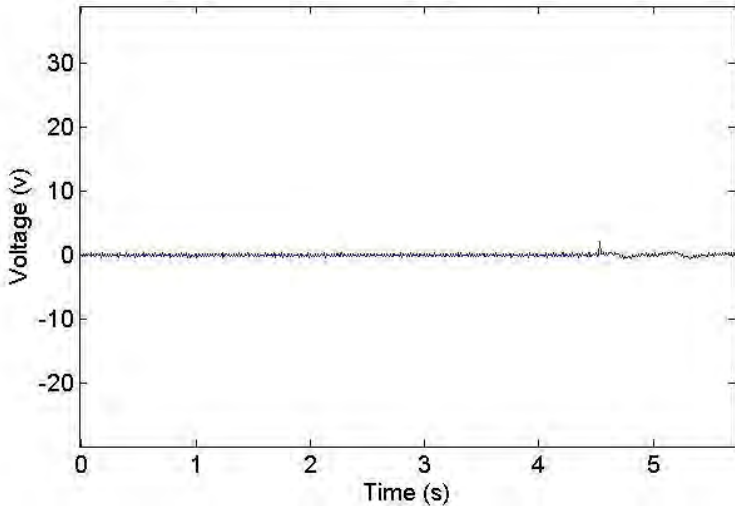
### 4.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik pada PLTGL – Sistem 1 Bandul



*Gambar 4.4 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single pendulum Amplitudo 4 cm , Panjang lengan 30cm , massa 100gr , rotasi motor 10 rpm*

Grafik 4.4 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem satu bandul RPM 10 amplitudo 4 cm terjadi perputaran

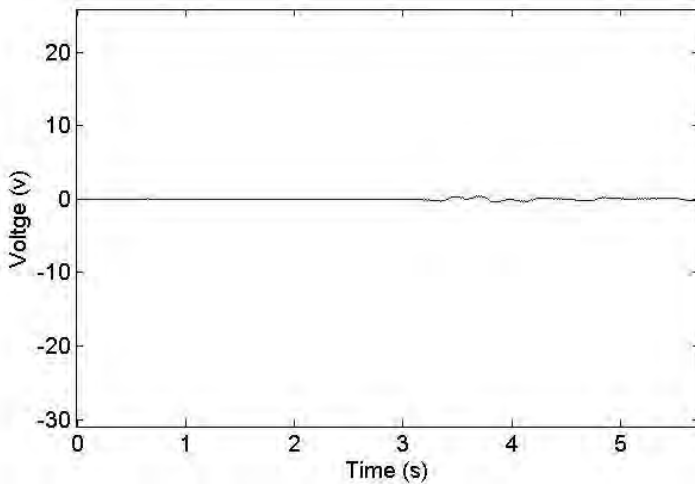
searah. Perputaran ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 0,8484 Volt.



*Gambar 4.5 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single pendulum Amplitudo 4 cm , Panjang lengan 30cm , massa 100gr , rotasi motor 20 rpm*

Grafik 4.5 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem satu bandul RPM 20 amplitudo 4 cm tidak terjadi perputaran. Akan tetapi terdapat sedikit

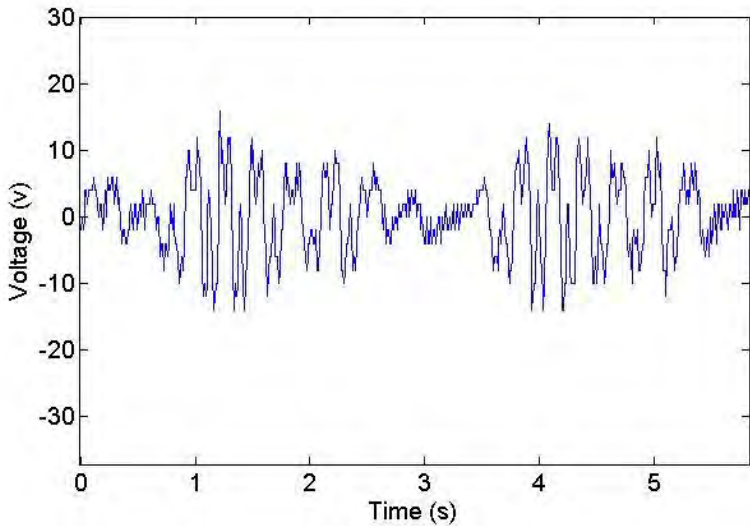
gerakan akibat gerakan naik turun ponton. Pergerakan ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 0,707Volt.



*Gambar 4.6 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single pendulum Amplitudo 4 cm , Panjang lengan 30cm , massa 100gr , rotasi motor 30 rpm*

Grafik 4.6 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem satu bandul RPM 30 amplitudo 4 cm tidak terjadi perputaran. Akan tetapi terdapat sedikit

gerakan akibat gerakan naik turun ponton. Pergerakan ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 0,17675 Volt.

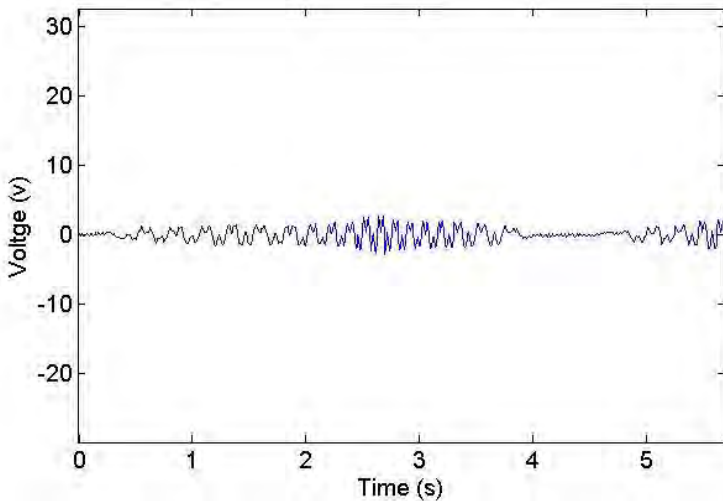


*Gambar 4.7 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single pendulum Amplitudo 6 cm , Panjang lengan 30cm , massa 100gr , rotasi motor 10 rpm*

Grafik 4.7 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem satu bandul RPM 10 amplitudo 6



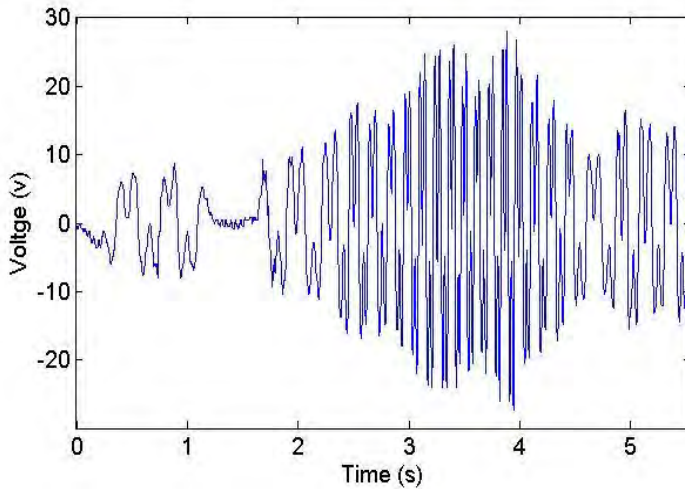
cm terjadi perputaran. Akan tetapi perputaran yang terjadi bolak-balik. Perputaran ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 11,0292 Volt.



*Gambar 4.8 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single pendulum Amplitudo 6 cm , Panjang lengan 30cm , massa 100gr , rotasi motor 20 rpm*

Grafik4.8 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem satu bandul RPM 20 amplitudo 6

cm terjadi perputaran. Pergerakan ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 1,6968 Volt.

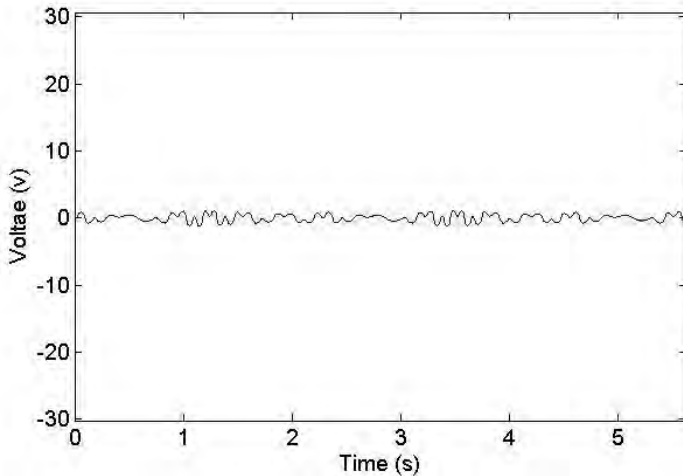


*Gambar 4.9 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single pendulum Amplitudo 6 cm , Panjang lengan 30cm , massa 100gr , rotasi motor 30 rpm*

Grafik4.9 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem satu bandul RPM 30 amplitudo 6

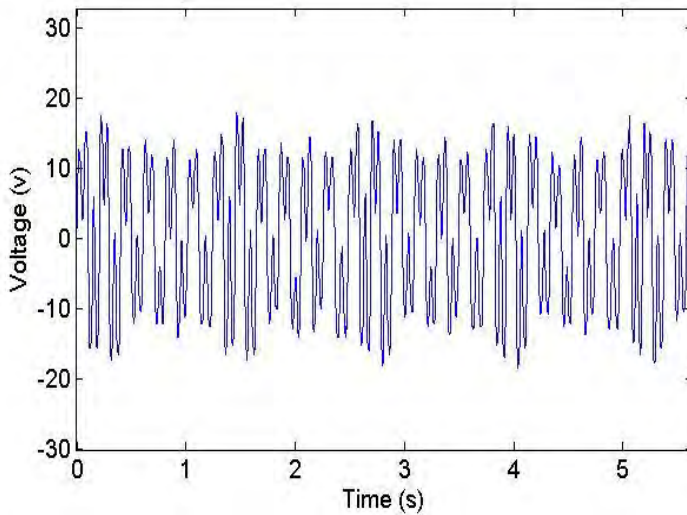
cm terjadi perputaran. Pergerakan ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 15,554 Volt.

#### 4.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik pada PLTGL – Sistem 3 Bandul



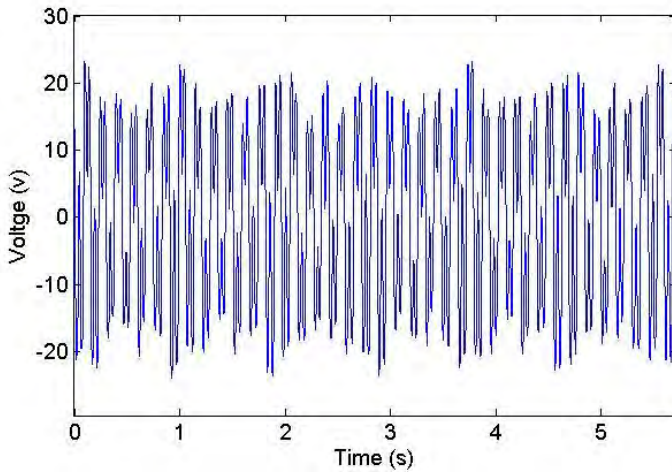
*Gambar 4.10 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope triple pendulum Amplitudo 4 cm , Panjang lengan 30cm ;20cm;10cm , massa total 300gr , rotasi motor 10 rpm*

Grafik 4.10 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem tiga bandul RPM 10 amplitudo 4 cm terjadi perputaran. Pergerakan ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 0,5656 Volt.



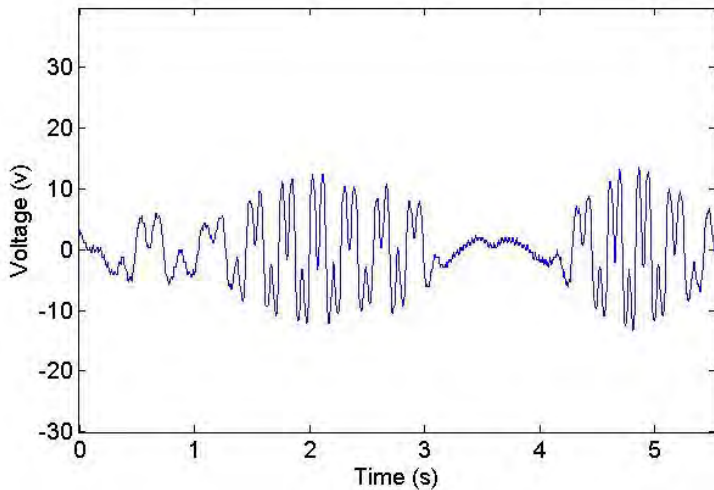
*Gambar 4.11 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope triple pendulum Amplitudo 4 cm , Panjang lengan 30cm ;20cm;10cm , massa total 300gr , rotasi motor 20 rpm*

Grafik 4.11 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem tiga bandul RPM 20 amplitudo 4 cm terjadi perputaran. Pergerakan ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 0,9191 Volt.



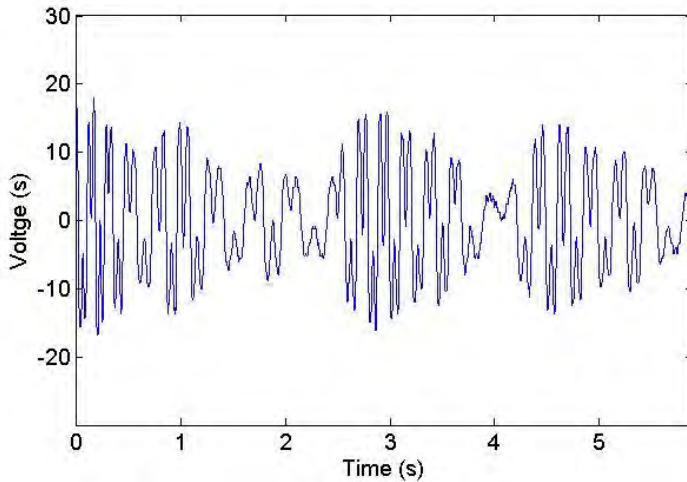
*Gambar 4.12 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope triple pendulum Amplitudo 4 cm , Panjang lengan 30cm ;20cm;10cm , massa total300gr , rotasi motor 30 rpm*

Grafik4.12 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem tiga bandul RPM 30 amplitudo 4 cm terjadi perputaran. Pergerakan ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 14,14 Volt.



*Gambar 4.13 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope trilependulum Amplitudo 6 cm , Panjang lengan 30cm ;20cm;10cm , massa total 300gr , rotasi motor 10 rpm*

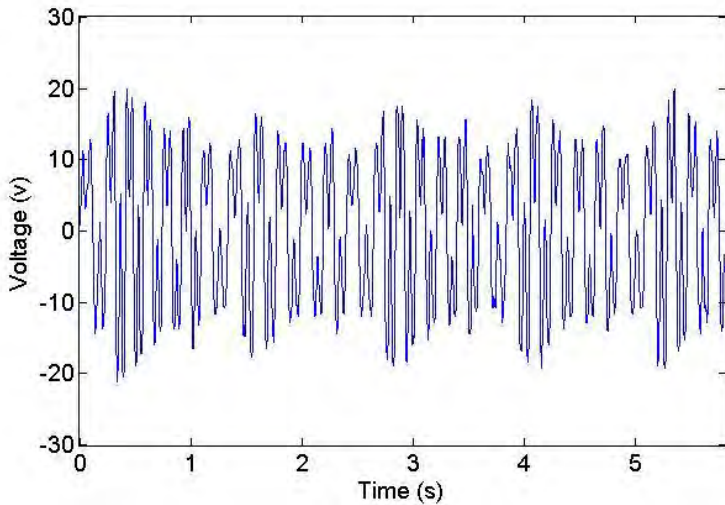
Grafik 4.13 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem tiga bandul RPM 10 amplitudo 6 cm terjadi perputaran. Akan tetapi perputaran yang terjadi bolak-balik. Perputaran ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 8,484 Volt.



*Gambar 4.14 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope triplependulum Amplitudo 6 cm , Panjang lengan 30cm ;20cm;10cm , massa total300gr , rotasi motor 20 rpm*

Grafik4.14 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem tiga bandul RPM 30 amplitudo 4 cm terjadi perputaran. Pergerakan ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 9,191 Volt.





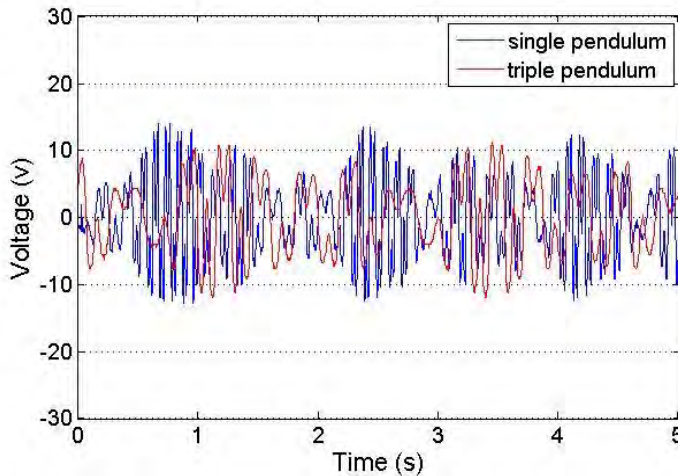
*Gambar 4.15 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope triplependulum Amplitudo 6 cm , Panjang lengan 30cm ;20cm;10cm , massa total300gr , rotasi motor 30 rpm*

Grafik4.15 menunjukkan grafik voltase dari pengujian simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem bandul dengan menggunakan Oscilloscope. Pada pengujian alat tersebut dengan sistem tiga bandul RPM 30 amplitudo 4 cm terjadi perputaran. Pergerakan ini menghasilkan voltase efektif (RMS) sebesar 9,898Volt.

#### **4.3 Perbandingan Karakteristik Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL – SB) dengan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Tiga Pendulum.**

Adapun dari hasil pengujian secara Fungsional dengan Oscilloscope didapatkan dengan berbagai macam kurva. Berdasarkan dari pengujian alat didapatkan bahwa hasil dari jungkat-jungkit pada alat ini tidak selalu menghasilkan putaran pendulum, putaran yang dihasilkan searah  $360^\circ$  , kurang dari  $360^\circ$  atau  $180^\circ$  dan arah putaran yang dihasilkan dapat berputar dari arah yang berlawanan dari gerakan awal.

### 4.3.1 Amplitudo 4 cm dengan Variasi Massa dan Panjang Lengan Pendulum



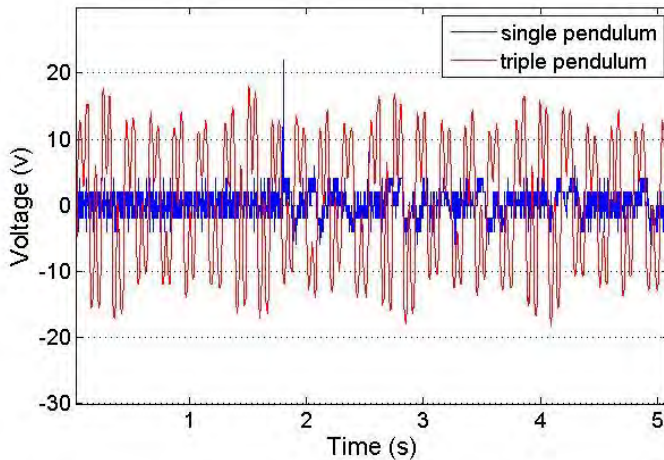
*Gambar 4.16 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single dan triple pendulum Amplitudo 4 cm , Panjang lengan 30cm,20cm dan 10cm, massa 100gr(single pendulum) 300gr (triple pendulum) , rotasi motor 10 rpm*

Grafik 4.16 merupakan hasil pengujian voltase simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem tiga bandul ponton datar Amplitudo 4 cm menggunakan oscilloscope dengan interval x 100 mV dan interval y 5 detik. Pengujian dilakukan dengan single pendulum, Massa yang

digunakan 100gr menunjukkan hasil grafik voltase yang harmonic. Hal ini dikarenakan pada Amplitudo 4 cm ini putaran pendulum dengan massa 100 gr dan panjang lengan 30 cm sangat konstan dan voltase yang dihasilkan stabil dan bandul bergerak searah selama pengambilan data berlangsung. Begitu pula pada triple pendulum, putaran yang dihasilkan searah. Hasil pengujian voltase simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem 3 bandul ponton datar Amplitudo 4 cm menggunakan oscilloscope dengan interval x 100 mV dan interval y 5 detik. Pengujian dilakukan dengan triple pendulum. Massa total yang digunakan 300gr menunjukkan hasil grafik voltase yang harmonic. Pergerakan bandul searah sehingga hasil menunjukkan data yang stabil. Hal ini dikarenakan pada Amplitudo 4 cm putaran pendulum dengan massa total 300 gr dan panjang lengan 30 cm, 20cm dan 10cm ini konstan dan voltase yang dihasilkan stabil dan bandul bergerak searah selama pengujian. Pengambilan data dilakukan dengan keadaan awal sudut  $45^\circ$  dan setiap bandul pada pengujian triple pendulum diberikan jarak  $45^\circ$ . Peletakan bandul sebidang dengan papan jungkat-jungkit. Lama waktu pengambilan data adalah 20 detik.

Maka untuk Amplitudo 4 cm dengan metode single dan triple pendulum dan massa 100 gr (single pendulum) dan

300 gr (triple pendulum) menunjukkan hasil konstan dan energy bangkitan tinggi untuk simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem pendulum.



**Gambar 4.17** Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single dan triple pendulum Amplitudo 4 cm , Panjang lengan 30cm,20cm dan 10cm(triple pendulum dan 30 cm (triple pendulum) ,massa 100gr(single pendulum) 300gr (triple pendulum) , rotasi motor 20 rpm

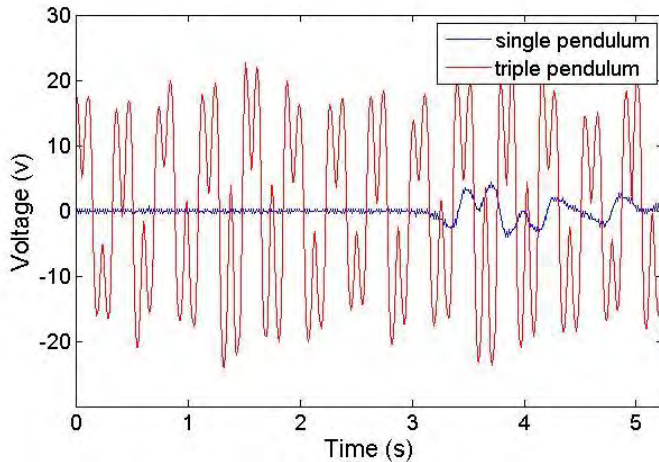
Grafik 4.17 merupakan hasil pengujian voltase simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem 3 bandul ponton datar Amplitudo 4 cm menggunakan oscilloscope dengan interval x 100 mV dan interval y 5 detik.

Pengujian dilakukan dengan single pendulum, massa yang digunakan 100gr menunjukkan hasil grafik voltase yang tidak harmonic. Hal ini dikarenakan pada Amplitudo 4 cm ini putaran pendulum dengan massa 100 gr dan panjang lengan 30 cm (single pendulum)pada pendulum tidak berputar dan voltase yang dihasilkankecil.

Sedangkan pada hasil pengujian voltase simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem tiga bandul ponton datar Amplitudo 4 cm menggunakan Oscilloscope dengan interval x 100 mV dan interval y 5 detik. Pengujian dilakukan dengan percobaan triple pendulum dimana panjang lengan divariasikan 30cm , 20cm, dan 10cm dengan massa total 300gr menghasilkan pergerakan bandul sangat bagus. Bandul bergerak searah.Pengujian dilakukan dengan keadaan awal sudut  $45^\circ$  dan setiap bandul pada pengujian triple pendulum diberikan jarak  $45^\circ$ . Peletakan bandul sebidang dengan papan jungkat-jungkit. Lama waktu pengambilan data adalah 20 detik.

Maka dapat disimpulkan bahwa untuk Amplitudo 4 cm dengan metode single pendulum dan massa 100 gr tidak menunjukkan adanya voltase pada Oscilloscope sedangkan pada pengujian triple pendulumdan dengan massa total 300 gr menunjukkan hasil yang konstan dan energy bangkitan yang

tinggi untuk simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem pendulum.



*Gambar 4.18 Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single dan triple pendulum Amplitudo 4 cm , Panjang lengan 30cm, 20cm dan 10cm (triple pendulum dan 30 cm (triple pendulum) , massa 100gr (single pendulum) 300gr (triple pendulum) , rotasi motor 30 rpm*

Grafik 4.18 merupakan hasil pengujian voltase simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem 3 bandul ponton datar Amplitudo 4 cm menggunakan oscilloscope dengan interval x 100 mV dan interval y 5 detik.

Pengujian dilakukan dengan single pendulum, Massa yang digunakan 100gr tidak menunjukkan hasil grafik voltase yang harmonic. Hal ini dikarenakan pada Amplitudo 4 cm ini putaran pendulum dengan massa 100 gr dan panjang lengan 30 cm (single pendulum) tidak terjadi perputar pada pendulum dan voltase yang dihasilkan Pendulum hanya bergerak sedikit tetapi tidak berputar.

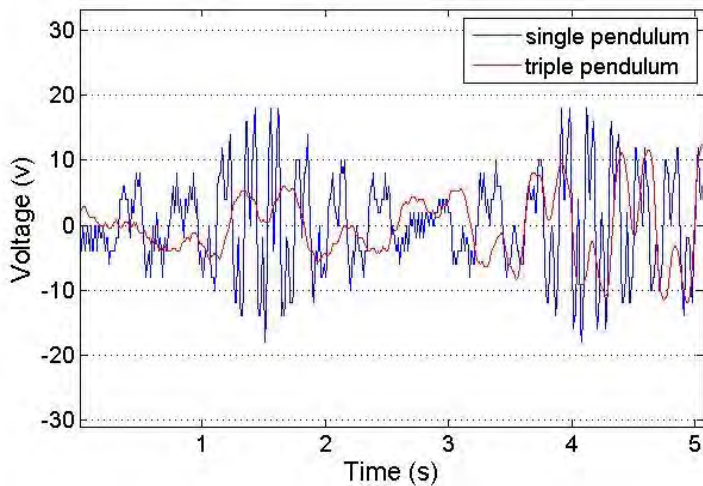
Sedangkan pada hasil pengujian voltase simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem 3 bandul ponton datar Amplitudo 4 cm menggunakan oscilloscope dengan interval x 100 mV dan interval y 5 detik. Pengujian dilakukan dengan percobaan triple pendulum dimana panjang lengan divariasikan 30cm , 20cm, dan 10cm dengan massa total 300gr menghasilkan pergerakan bandul sangat bagus. Bandul bergerak searah. Pengambilan data dilakukan dengan keadaan awal sudut  $45^\circ$  dan setiap bandul pada pengujian triple pendulum diberikan jarak  $45^\circ$ . Peletakan bandul sebidang dengan papan jungkat-jungkit. Lama waktu pengambilan data adalah 20 detik.

Maka dapat disimpulkan bahwa untuk Amplitudo 4 cm dengan metode single pendulum dan massa 100 gr tidak menunjukkan adanya voltase pada Oscilloscope sedangkan pada pengujian triple pendulum dan dengan massa total 300



gr menunjukkan hasil yang konstan dan energy bangkitan yang tinggi untuk simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem pendulum.

#### 4.3.2 Amplitudo 6cm dengan Variasi Massa dan Panjang Lengan Pendulum

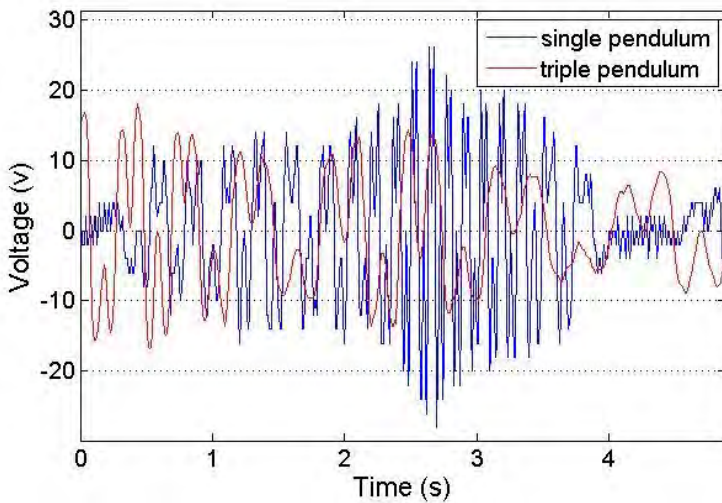


**Gambar 4.19** Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single dan triple pendulum Amplitudo 6 cm , Panjang lengan 30cm,20cm dan 10cm ,massa 100gr(single pendulum) 300gr (triple pendulum) , rotasi motor 10 rpm

Grafik 4.19 merupakan hasil pengujian voltase simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem 3 bandul ponton datar Amplitudo 6 cm menggunakan oscilloscope dengan interval x 100 mV dan interval y 5 detik. Pengujian dilakukan dengan single pendulum, massa yang digunakan 100gr menunjukkan hasil grafik voltase tidak konstan. Pada pengujian single dan triple pendulum putaran yang dihasilkan tidak searah. Pada pengujian single pendulum saat detik 10 dan 19 bandul mengalami putaran bolak-balik. Sedangkan pada pengujian triple pendulum putaran bolak balik terjadi pada detik ke 16. Maka pada pengujian ini keduanya menghasilkan putaran yang tidak searah. Hasil bisa kita ketahui dari grafik hasil pengujian. Pengambilan data dilakukan dengan keadaan awal sudut  $45^\circ$  dan setiap bandul pada pengujian triple pendulum diberikan jarak  $45^\circ$ . Peletakan bandul sebidang dengan papan jungkat-jungkit. Lama waktu pengambilan data adalah 20 detik.

Maka dapat disimpulkan bahwa untuk Amplitudo 6 cm dengan metode single pendulum dan massa 100 gr menunjukkan adanya voltase yang bisa dikatakan tidak seimbang, karena perputaran yang dihasilkan tidak searah pada Oscilloscope begitu pula pada pengujian triple pendulum dan dengan massa total 300 gr menunjukkan hasil yang tidak

searah namun energy bangkitan yang dihasilkan dapat dikatakan menghasilkan energi bangkitan yang cukup tinggi untuk simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem pendulum.



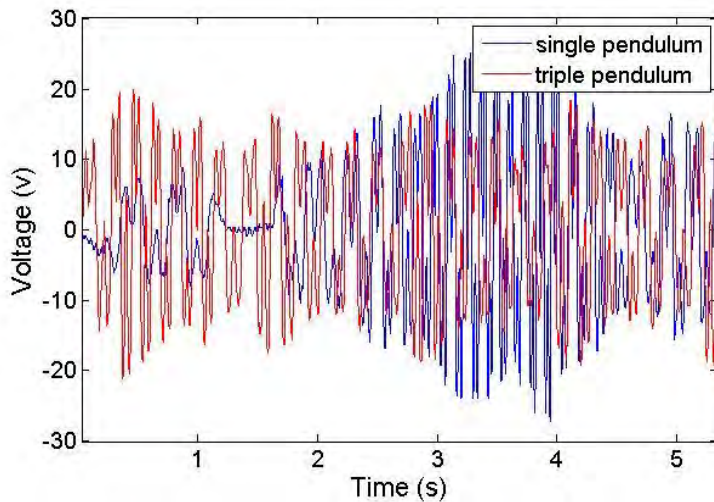
**Gambar 4.20** Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single dan triple pendulum Amplitudo 6 cm , Panjang lengan 30cm,20cm dan 10cm ,massa 100gr(single pendulum) 300gr (triple pendulum) , rotasi motor 20 rpm

Grafik 4.20 merupakan hasil pengujian voltase simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem 3

bandul ponton datar Amplitudo 6 cm menggunakan oscilloscope dengan interval x 100 mV dan interval y 5 detik. Pengujian dilakukan dengan single pendulum, massa yang digunakan 100gr dan hasil pada pengujian single pendulum atau bandul berputar searah akan tetapi bandul berhenti pada detik ke 9 dan kemudian pada detik ke 19 bandul kembali berputar searah. Sedangkan pada pengujian triple pendulum pergerakan awal pendulum tidak begitu bagus karena bandul memantul kearah berlawanansehingga bandul berhenti sejenak dan kemudian berputar kembali namun berputar berlawanan arah dari arah sebelumnya. . Diketahui dari grafik hasil pengujian.Pengambilan data dilakukan dengan keadaan awal sudut  $45^\circ$  dan setiap bandul pada pengujian triple pendulum diberikan jarak  $45^\circ$ . Peletakan bandul sebidang dengan papan jungkat-jungkit. Lama waktu pengambilan data adalah 20 detik.

Maka dapat disimpulkan bahwa untuk Amplitudo 6 cm dengan metode single pendulum dan massa 100 gr tidak menunjukkan adanya voltase yang bisa dikatakan balance atau seimbang, karena perputaran yang dihasilkan tidak searah namun pada Oscilloscope menunjukkan voltase yang tinggi. Begitu pula pada pengujian triple pendulum dengan massa total 300 gr menunjukkan hasil yang tidak searah namun

energy bangkitan yang dihasilkan dapat dikatakan keduanya menghasilkan energi bangkitan yang cukup tinggi untuk simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem pendulum.



**Gambar 4.21** Grafik Voltase Dari Pengujian Oscilloscope single dan triple pendulum Amplitudo 6 cm , Panjang lengan 30cm,20cm dan 10cm ,massa 100gr(single pendulum) 300gr (triple pendulum) , rotasi motor 30 rpm

Grafik 4.21 merupakan hasil pengujian voltase simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem 3 bandul ponton datar Amplitudo 6 cm menggunakan oscilloscope dengan interval x 100 mV dan interval y 5 detik. Pengujian dilakukan dengan single pendulum, massa yang digunakan 100gr menunjukkan hasil grafik voltase yang bagus.

Pada pengujian ini didapatkan hasil yaitu bandul berputar searah. Hasil diketahui dari grafik hasil pengujian. Pengambilan data dilakukan dengan keadaan awal sudut  $45^\circ$  dan setiap bandul pada pengujian triple pendulum diberikan jarak  $45^\circ$ . Peletakan bandul sebidang dengan papan jungkat-jungkit. Lama waktu pengambilan data adalah 20 detik.

Maka dapat disimpulkan bahwa untuk Amplitudo 6 cm dengan metode single dan triple pendulum dan massa 100 gr (single pendulum) dan 300 gr (triple pendulum) menunjukkan hasil yang konstan dan energy bangkitan tinggi untuk simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem pendulum. Tujuan dari perancangan alat ini bisa dikatakan terpenuhi karena perputaran searah dengan menggunakan 3 bandul dapat terjadi dan menghasilkan Tren grafik yang balance.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian karakteristik dari Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem 3 Pendulum Ponton Datar ini maka penulis mengambil kesimpulan. Karena alat yang dibangun sebatas simulatorsaja maka kesimpulan diambil berdasarkan hasil terhadap simulator.

Adapun kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Pada fenomena gerakan simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem tiga pendulum cenderung bergerak konstan searah dibanding dengan simulator pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem satu pendulum.

| No | Single Pendulum  |                  | Triple Pendulum  |                  | Keterangan  |
|----|------------------|------------------|------------------|------------------|---|
|    | Amplitudo<br>4cm | Amplitudo<br>6cm | Amplitudo<br>4cm | Amplitudo<br>6cm |   |
| 1  | A                | B                | A                | B                | A= Berputar<br>Searah<br>B = Bolak-<br>balik<br>C = Tidak<br>Bergerak |
| 2  | C                | A                | A                | A                |   |
| 3  | C                | A                | A                | A                |   |

## 2. Voltase Bangkitan

| NO | RPM | VOLTASE BANGKITAN |                   |                   |                   |
|----|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|    |     | SINGLE PENDULUM   |                   | TRIPLE PENDULUM   |                   |
|    |     | Amplitudo<br>4 cm | Amplitudo<br>6 cm | Amplitudo<br>4 cm | Amplitudo<br>6 cm |
| 1  | 10  | 0,8484            | 11,0292           | 0,5656            | 0,9191            |
| 2  | 20  | 0,707             | 1,6968            | 0,9191            | 9,191             |
| 3  | 30  | 0,17675           | 15,554            | 14,14             | 9,898             |



## 5.2. Saran

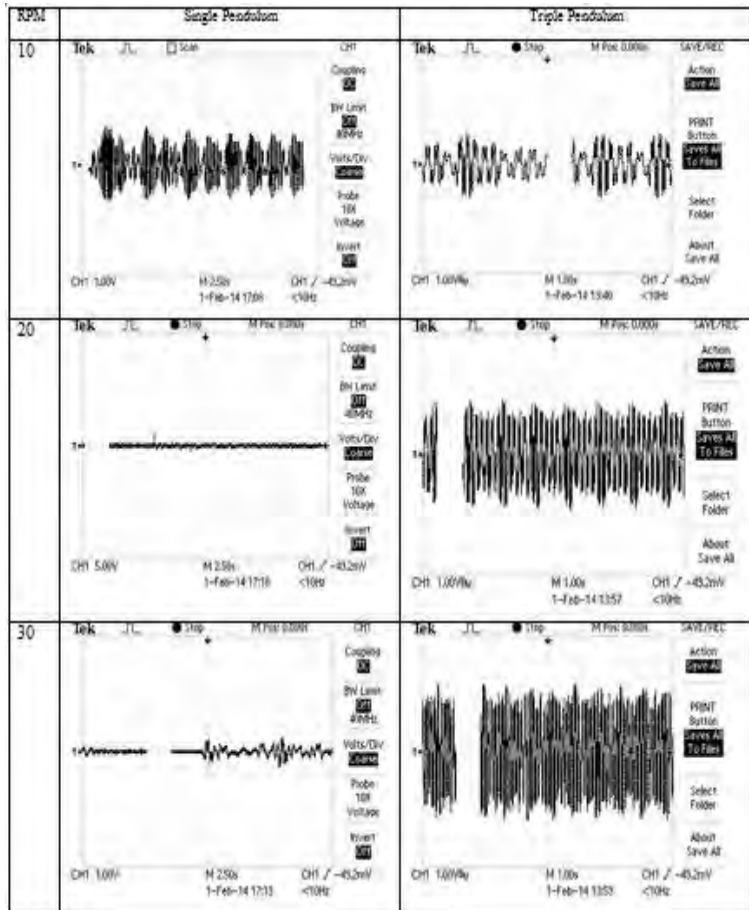
Uji karakteristik Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem 3 Pendulum dalam Tugas Akhir ini masih merupakan tahap awal dari alat sebenarnya dan masih berupa model yang hanya menunjukkan mekanisme kerja saja. Evaluasi terhadap efisiensi, fungsional dan kekuatan bahan masih sangat perlu diperbaiki. Sehingga secara ideal perlu adanya pengembangan lanjutan demi optimalisasi fungsi alat. Guna mencapai perbaikan di masa mendatang maka perancang memberikan beberapa saran terkait pengembangan alat ini , antara lain :

1. Perlu adanya study literatur yang lebih tentang Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.
2. Peninjauan kembali tentang panjang lengan, masa yang harus disesuaikan oleh frekuensi dari gerakan atau perputaran pendulum.
3. Jika mendapatkan hasil yang tidak searah lebih baik menggunakan bearing satu arah sehingga generator bisa menghasilkan voltase yang konstan.

*“ Halaman sengaja dikosongkan “*

## LAMPIRAN

### 1. Grafik Data Oscilloscope ( Amplitudo 4cm)



## 2. Grafik Data Oscilloscope (Amplitudo 6cm)

